ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1903 г. ТОМЪ 4 No. 1

О возможномъ построеніи механики массъ, не опирающемся на вспомогательное опредѣленіе понятія о силѣ

Н. Н. Шиллера

Уже Кирхгоффъ въ первыхъ строкахъ своей „Механики" высказываетъ нижеслѣдующее: „Движеніе есть измѣненіе мѣста со временемъ; то, что̀ движется, есть матерія. Для пониманія движенія необходимы представленія о пространствѣ, времени и матеріи, но они и достаточны. Съ этими средствами механика должна искать достиженія своей цѣли, и съ ними же она должна строить тѣ вспомогательныя понятія. которыя ей при этомъ могутъ понадобиться, напримѣръ понятія о силѣ и о массѣ".

Прибавимъ, что понятіе о массѣ Кирхгоффъ считаетъ вспомогательнымъ въ смыслѣ произвольнаго построенія связи между представленіемъ о матеріи и способомъ численнаго выраженія ея, какъ величины. Кромѣ того замѣтимъ, что къ числу такихъ же производныхъ и вспомогательныхъ понятій, какъ сила, должны быть отнесе́ны также: плотность, моментъ инерціи, центръ инерціи, количество движенія, живая сила, энергія и т. п.

Задача механики заключается въ изученіи способовъ сопоставленія трехъ ея основныхъ представленій о времени, пространствѣ и матеріи. Нашъ произволъ въ выборѣ упомянутыхъ способовъ сопоставленія ограниченъ тѣмъ обстоятельствомъ, что —по свойству нашего мышленія—сопоставленіе какихъ бы то

ни было представленій только тогда является намъ яснымъ и опредѣленнымъ, когда эти представленія связаны съ понятіемъ о величинахъ, свойства коихъ и операціи надъ коими даются математикою. Во всякихъ другихъ отношеніяхъ схемы комбинацій трехъ основныхъ апріорныхъ представленій механики могутъ быть произвольно разнообразны, различаясь лишь большею или меньшею легкостью усвоенія нами выводимыхъ понятій. При этомъ, конечно, должно имѣть въ виду, что каковы бы ни были выведенныя комбинаціи вспомогательныхъ механическихъ понятій, онѣ все-таки будутъ оставаться тѣмъ или другимъ сопоставленіемъ трехъ основныхъ, другъ другомъ не опредѣляемыхъ представленій о времени, пространствѣ и матеріи. Поэтому любое изъ вспомогательныхъ понятій можетъ быть или совершенно опущено въ процессѣ построенія механики, или замѣнено другимъ, новымъ вспомогательнымъ понятіемъ. Кромѣ того, любое изъ вспомогательныхъ понятій можетъ быть введено въ механику или при самомъ началѣ построенія ея схемы, какъ это дѣлается съ понятіемъ о силѣ, или можетъ быть введено уже въ концѣ построенной схемы, какъ это дѣлается съ понятіемъ объ энергіи. Наконецъ, каждое изъ трехъ основныхъ неопредѣляющихся другъ чрезъ друга понятій о времени, пространствѣ и матеріи можетъ быть замѣнено любымъ изъ вспомогательныхъ понятій, но съ тѣмъ, чтобы замѣненное основное понятіе могло опредѣляться при помощи двухъ остальныхъ и новаго понятія, какъ производное изъ этихъ трехъ послѣднихъ.

Настоящая статья представляетъ попытку построенія механической схемы безъ введенія съ самаго начала понятія о силѣ, т. е. безъ помощи опредѣленій этого понятія, даваемыхъ тремя законами Ньютона. Задача же построенія механической схемы состоитъ въ опредѣленіи понятія о зависимости движенія однихъ тѣлъ отъ движенія другихъ. Упомянутая зависимость можетъ быть выражена не иначе какъ при помощи количественныхъ соотношеній между различными пространственными, временными и массовыми величинами. Поэтому прежде всего является необходимымъ выяснить количественныя соотношенія, возможныя въ области представленій о матеріи, т. е. выяснить возможность представленія о матеріи, какъ о величинѣ, полагая, что количественная оцѣнка представленій о времени и пространствѣ уже установлена.

Представленіе о матеріи принадлежитъ къ числу необходи-

мыхъ элементовъ, изъ коихъ слагается понятіе о физическомъ тѣлѣ. Какъ нельзя представить тѣла внѣ времени и пространства, такъ нельзя представить его не матеріальнымъ. Матерія доступна нашему понятію, какъ величина, и потому можетъ быть такъ или иначе измѣрена и выражена числомъ. Измѣренное количество матеріи условимся называть *массою*. Такимъ образомъ масса даннаго тѣла выразится числомъ, отличающимъ наше представленіе о матеріи этого тѣла отъ подобнаго же представленія, относящагося къ другому тѣлу. Если мы обозначимъ чрезъ m и m' два числа, выражающія массы двухъ какихъ-нибудь тѣлъ, то, разсматривая оба тѣла, какъ одно, мы приписываемъ этому сложному тѣлу такую массу M, которая выражается суммою двухъ данныхъ, т. е.

$$M = m + m' \tag{1}$$

Выраженіе (1) мы должны разсматривать, какъ одно изъ опредѣленій способа количественнаго выраженія представленія о матеріи.

Такъ какъ тѣла въ нашемъ представленіи отличаются другъ отъ друга своими массами, то и движенія тѣлъ мы должны различать не только *кинематически*—по скоростямъ, но и по массамъ, обладающимъ тѣми или другими скоростями. Такой способъ различенія движеній, въ которомъ принимаются въ разсчетъ и массы, и скорости движущихся тѣлъ, можно назвать *кинетическимъ* сравненіемъ движеній. При этомъ, конечно, подразумѣвается утвержденіе, что масса тѣла не измѣняется вслѣдствіе движенія этого послѣдняго.

Такимъ образомъ движенія двухъ данныхъ тѣлъ будутъ кинетически одинаковы, когда одинаковы не только скорости упомянутыхъ тѣлъ, но и массы этихъ послѣднихъ. Мы должны считать, что два тѣла, обладающія одинаковыми движеніями, но имѣющія разныя массы, представляютъ два различныхъ явленія. Точно также, совокупность различныхъ массъ, разсматриваемая, какъ одно тѣло, можетъ двигаться, имѣя одинакія скорости во всѣхъ своихъ частяхъ, при чемъ однако движенія этихъ частей будутъ кинетически отличны другъ отъ друга, если движущіяся массы не одинаковы.

Части одного и того же тѣла, а также и различныя тѣла мы можемъ себѣ представить связанными другъ съ другомъ такимъ образомъ, что любому заданному движенію однѣхъ частей

объемовъ разсматриваемой совокупности соотвѣтствуютъ только тѣ или другія изъ ряда опредѣленныхъ движеній другихъ частей. Условимся считать, что тѣ или другія связи между частями тѣлъ не вліяютъ на распредѣленіе массъ въ этихъ послѣднихъ. Если поэтому между какъ-нибудь свободно движущимися частями тѣла возникаютъ какія-либо связи, то массы этихъ частей тѣмъ не измѣняются, хотя движеніе ихъ вообще должно измѣниться, ибо прежнія скорости не будутъ уже удовлетворять вновь наложеннымъ на нихъ условіямъ. Тѣмъ не менѣе, подбирая извѣстнымъ образомъ условія связности частей тѣла и распредѣленіе въ нихъ массъ, можно установить такія соотношенія между массами и скоростями, которыя сохранятся неизмѣнными, какъ въ случаѣ существованія связей, такъ и въ отсутствіи оныхъ. Затѣмъ такое соотношеніе и можно принять указателемъ способа, по какому мы условливаемся сравнивать массы между собою. Прежде, чѣмъ установить въ общемъ видѣ вышеупомянутое *кинетическое* условіе измѣненія движенія связями, разсмотримъ нѣкоторыя простѣйшія положенія, являющіяся частными случаями болѣе обобщеннаго условія.

Представимъ себѣ двѣ массы, занимающія—для простоты разсужденія—безконечно малые объемы. Предположимъ, что эти массы могутъ быть въ любое время такъ связаны между собою, что при всякихъ ихъ перемѣщеніяхъ разстояніе между ними остается неизмѣннымъ. Пусть обѣ массы движутся съ равными и прямо-противоположными скоростями. Если съ закрѣпленіемъ ихъ взаимнаго разстоянія въ какой-либо моментъ движенія обѣ массы остановятся, то мы будемъ ихъ считать равными другъ другу. Если двѣ массы m и m', движущіяся прямо-противоположно другъ другу съ соотвѣтственными скоростями v и v', вслѣдъ за закрѣпленіемъ ихъ взаимнаго разстоянія остановятся, то мы будемъ считать, что

$$m : m' = v' : v . \tag{2}$$

Отсчитывая скорости по одному и тому же направленію, но отличая ихъ по знаку, мы можемъ условіе (2) написать въ видѣ

$$mv + m'v' = 0 . \tag{2'}$$

Если скорости v и v' не удовлетворяютъ равенству (2'), то полагая

$$v = v + w - w , \; v' = v' + w - w ,$$

выберемъ скорость w такъ, чтобы

$$m\,(v-w)+m'\,(v'-w)=0, \tag{3}$$

откуда,

$$mv+m'v'=(m+m')\,w\,. \tag{3'}$$

Такъ какъ закрѣпленіе разстоянія между двумя массами, очевидно, не измѣнитъ равныхъ и одинаково направленныхъ скоростей этихъ послѣднихъ, то легко видѣть, что съ закрѣпленіемъ разстоянія массъ m и m' ихъ скорости $v-w$ и $v'-w$, удовлетворяющія условію (3), исчезнутъ, и останется общая обѣимъ массамъ скорость w, опредѣляемая условіемъ (3′).

Произведеніе изъ массы и ея скорости будемъ называть, какъ принято, *количествомъ движенія* и будемъ его разсматривать, какъ векторіальное количество, направленіе коего совпадаетъ съ направленіемъ скорости.

Какъ бы мы ни условились представлять себѣ распредѣленіе массъ среди данной системы движущихся тѣлъ, для каждаго распредѣленія мы разыщемъ *центръ инерціи массъ*, какъ такую точку, разстояніе коей отъ всякаго произвольно выбраннаго начала представится векторомъ, равнымъ геометрической суммѣ изъ векторіальныхъ разстояній всѣхъ массовыхъ единицъ отъ того же начала, дѣленной на сумму всѣхъ массъ. Съ перемѣщеніемъ тѣлъ разсматриваемой системы и ихъ центръ инерціи, будетъ перемѣщаться какъ относительно общихъ осей координатъ, такъ и относительно тѣлъ системы. Скорость перемѣщенія центра инерціи, какъ извѣстно, будетъ выражена векторомъ, равнымъ геометрической суммѣ количествъ движенія всѣхъ массъ системы, дѣленной на сумму всѣхъ массъ. Точно также извѣстно, что геометрическая сумма моментовъ всѣхъ количествъ движенія системы около какого-либо начала представится векторомъ, равнымъ моменту количествъ движенія системы около центра инерціи, геометрически сложенному съ моментомъ количества движенія центра инерціи около разсматриваемаго начала, причемъ центру инерціи должна быть приписана масса, равная суммѣ массъ системы. Ни геометрическая сумма количествъ движенія системы, ни геометрическая сумма ихъ моментовъ около какого-либо начала не измѣнятся, если къ массамъ системы будутъ приложены новыя количества движенія, попарно равныя и прямо-противоположныя другъ другу, и направленныя по прямымъ, соединяющимъ точки системы. Если поэтому мы усло-

вимся различать массы частей системы такимъ образомъ, чтобы измѣненіе движенія, возникающее вслѣдствіе закрѣпленія разстояній точекъ системы, соотвѣтствовало бы приращенію ихъ количествъ движенія вышеописаннымъ образомъ на равныя и прямо-противоположныя векторіальныя количества, то получимъ такую систему массъ, коей геометрическая сумма количествъ движенія и геометрическая сумма моментовъ количествъ движенія не измѣняются закрѣпленіемъ разстояній.

Будемъ называть *главнымъ векторомъ* геометрическую сумму количествъ движенія данной системы движущихся массъ въ данный моментъ ея движенія; *главнымъ моментомъ* будемъ называть геометрическую сумму моментовъ количествъ разсматриваемой системы около какого-либо начала, въ данный моментъ ея движенія. Коль скоро приращенія количествъ движенія разсматриваемыхъ движущихся массъ за данный промежутокъ времени равны и прямо-противоположны другъ другу для любой пары массъ системы, то главный векторъ и главный моментъ остаются неизмѣнными. Если наоборотъ приращенія количествъ движенія слѣдуютъ иному закону, и главный векторъ системы съ ея главнымъ моментомъ не остаются неизмѣнными, то всегда можно вообразить нѣкоторую добавочную систему движущихся массъ, главный моментъ и главный векторъ коей претерпѣвали бы въ то же самое время измѣненія равныя и прямо-противоположныя измѣненіямъ главнаго вектора и главнаго момента первой системы. Тогда обѣ системы вмѣстѣ, разсматриваемыя, какъ одна система, будутъ обладать неизмѣннымъ главнымъ векторомъ и неизмѣннымъ главнымъ моментомъ. Всякую такую систему съ неизмѣнными главнымъ векторомъ и главнымъ моментомъ будемъ называть *замкнутою системою*. Векторіальное количество, представляемое частнымъ отъ дѣленія приращенія количества движенія данной массы на безконечно малое время, въ теченіе коего упомянутое приращеніе совершается, будемъ называть *геометрическою производною количества движенія* или *измѣненіемъ количества движенія*. Въ томъ же смыслѣ будемъ говорить объ *измѣненіи главнаго вектора* и объ *измѣненіи главнаго момента*. Геометрическая сумма измѣненій количествъ движеній и геометрическая сумма измѣненій моментовъ количествъ движеній, очевидно, равны соотвѣтственно измѣненію главнаго вектора и измѣненію главнаго момента. Въ замкнутой системѣ измѣне-

нія главнаго вектора и главнаго момента равны нулямъ въ отдѣльности. Всегда можно вообразить нѣкоторую добавочную систему, дополняющую данную незамкнутую систему до замкнутой. Наоборотъ данную замкнутую систему можно разбить на любое число незамкнутыхъ системъ. Измѣненія главнаго вектора и главнаго момента каждой части нѣкоторой замкнутой системы можно разсматривать, какъ обусловленныя присутствіемъ остальныхъ частей системы измѣненія главныхъ векторовъ и главныхъ моментовъ которыхъ, слагаясь геометрически съ таковыми же разсматриваемой части, даютъ въ результатѣ нуль. Въ такомъ случаѣ можно сказать также, что первая система массъ обусловливаетъ измѣненіе упомянутыхъ векторовъ остальныхъ системъ, дополняющихъ первую систему до замкнутой.

Двѣ незамкнутыя системы движущихся массъ, дополняющія другъ друга до замкнутой системы, будемъ называть системами, *дѣйствующими другъ на друга.* Очевидно, что при такомъ опредѣленіи мы, говоря, что одна система дѣйствуетъ на другую, должны также сказать, что эта другая дѣйствуетъ на первую. Поэтому двѣ массы мы тогда назовемъ *дѣйствующими* другъ на друга, когда каждая изъ нихъ представляетъ незамкнутую систему, т. е. обладаетъ отличнымъ отъ нуля измѣненіемъ количества движенія, и когда обѣ массы вмѣстѣ дополняютъ другъ друга до замкнутой системы, т. е. когда ихъ измѣненія количества движенія равны и прямо-противоположны другъ другу. Всякія двѣ массы, входящія въ составъ какой-либо системы, будутъ, очевидно, постольку дѣйствующими другъ на друга, поскольку онѣ будутъ обладать такими составляющими измѣненія количества движенія, которыя равны и прямо-противоположны другъ другу.

Если количество движенія какой-либо отдѣльно разсматриваемой массы не измѣняется, то эта масса сама по себѣ представляетъ замкнутую систему, и, согласно съ установленною выше точкою зрѣнія, нѣтъ надобности представлять себѣ еще другую массу, чтобы получить принятую за образецъ картину движенія замкнутой системы. Если разсматриваемая масса измѣняетъ свое количество движенія, то мы должны себѣ представить по крайней мѣрѣ еще одну другую массу, обладающую равнымъ и прямо-противоположнымъ измѣненіемъ количества движенія, чтобы свести наблюдаемый случай къ случаю движенія замкнутой системы, принятому нами за образецъ сравненія.

Полагая такимъ образомъ ближайшею задачею *объясненія движенія* данной массы разысканіе той замкнутой системы, часть которой эта масса составляетъ, мы можемъ утверждать, что измѣненіе количества движенія данной массы нами понимается, какъ дѣйствіе на нее другой системы массъ, обладающей равнымъ и прямо-противоположнымъ количествомъ движенія (т. е. обладающей равнымъ и прямо-противоположнымъ главнымъ векторомъ).

Измѣненіе количества движенія данной массы (т. е. произведеніе изъ массы и ускоренія) можетъ быть задано для каждаго момента времени движенія этой массы, и на основаніи такого заданія, какъ извѣстно, можетъ быть разыскано ея движеніе въ смыслѣ опредѣленія ея координатъ въ функціи времени. Смыслъ подобнаго заданія соотвѣтствуетъ, очевидно, вопросу о томъ каково должно быть движеніе данной массы подъ тѣмъ условіемъ, чтобы она въ каждый моментъ времени дополняла собою до замкнутой системы нѣкоторую незамкнутую систему, заданную для любого времени своимъ главнымъ векторомъ и своимъ главнымъ моментомъ или, что все равно, своимъ приложеннымъ главнымъ векторомъ (т. е. векторомъ, заданнымъ не только его величиною и направленіемъ, но и линіею, по который онъ откладывается, или точкою приложенія[1]).

Измѣненіе количества движенія данной массы можетъ быть задано своими слагающими, каждую изъ которыхъ можно разсматривать, какъ результатъ дѣйствія особой системы. Другими словами, разсматриваемая масса, со своею одною слагающею измѣненія количества движенія, дополняетъ одну систему до замкнутой; съ каждою изъ прочихъ слагающихъ та же масса дополняетъ до замкнутой системы какую-либо иную изъ наличныхъ незамкнутыхъ системъ, и именно ту, у коей измѣненіе главнаго вектора равно и прямо-противоположно разсматриваемой слагающей измѣненія количества движенія упомянутой выше массы. Очевидно также, что часть слагающихъ количества движенія разсматриваемой массы можетъ быть задана извѣстнымъ образомъ съ помощью наложенныхъ условій подвижности этой массы.

---

[1]) О приложенныхъ векторахъ см. *Г. К. Сусловъ*, Основы Аналитической Механики. Кіевъ (1900) т. I, стр. 7.

Если теперь названіе „дѣйствіе", присвоенное произвольно составленному понятію, мы замѣнимъ названіемъ „сила" для частнаго случая, когда дѣйствіе имѣетъ мѣсто между каждою парою массъ, то окажется, что всѣ предыдущія опредѣленія приводятъ къ тому же самому понятію о силѣ, какое дается тремя основными законами Ньютона. Дѣйствительно, законы Ньютона опредѣляютъ силу, какъ дѣйствіе одного тѣла на другое, при чемъ (3-й законъ) дѣйствіе равно и прямо-противоположно противодѣйствію; дѣйствіе же по величинѣ и направленію (2-й законъ) равно измѣненію количества движенія (т. е. произведенію изъ массы и ускоренія), и безъ дѣйствія силы (1-й законъ) нѣтъ измѣненія движенія.

Что же касается до введеннаго выше на первомъ мѣстѣ условія сравненія массъ при помощи закрѣпленія ихъ взаимныхъ разстояній, то такое опредѣленіе не заключается въ законахъ Ньютона, но тѣмъ не менѣе независимо отъ этихъ послѣднихъ вводится въ схему ньютоніанской механики подъ видомъ утвержденія, что равныя и прямо-противоположныя другъ другу силы, дѣйствующія на двѣ массы, взаимное разстояніе коихъ не измѣняемо, другъ друга уравновѣшиваютъ.

Кіевъ. Іюнь 1902 г.

Электрическія взаимодѣйствія

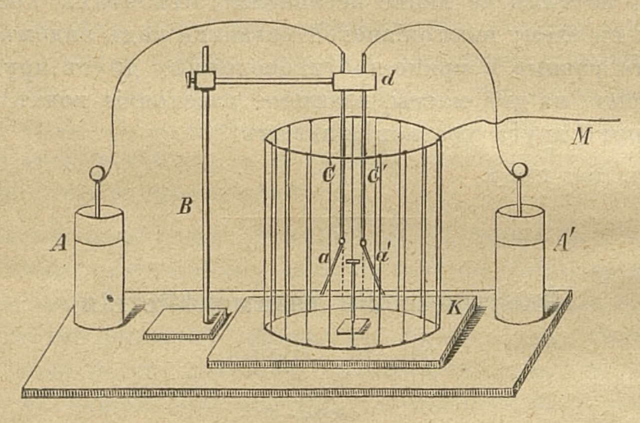
Я. Н. Жука.

При формулированіи законовъ взаимодѣйствія наэлектризованныхъ тѣлъ обыкновенно предполагается, что эти тѣла удалены отъ всякихъ другихъ тѣлъ, могущихъ оказать на нихъ какое-либо вліяніе. Но если къ этимъ двумъ тѣламъ приблизить третье, то—вслѣдствіе его индуктивнаго дѣйствія—распредѣленіе зарядовъ на первыхъ, вообще говоря, измѣнится, а потому измѣнится и ихъ взаимодѣйствіе, при чемъ притяженіе можетъ перейти въ отталкиваніе или наоборотъ. Для того, чтобы предсказать какія перемѣщенія произойдутъ въ каждомъ частномъ случаѣ, мы можемъ слѣдить или только за зарядами взаимодѣй-

ствующихъ тѣлъ, или только за ихъ потенціалами; въ послѣднемъ случаѣ необходимо обращать вниманіе на производимое присутствіемъ третьяго тѣла измѣненіе потенціала среды, которое иногда можетъ быть замаскировано.

Мы ограничимся случаемъ, когда—подъ вліяніемъ третьяго тѣла—потенціалъ среды, окружающей два тѣла, измѣняется всюду одинаково, а потенціалы этихъ взаимодѣйствующихъ тѣлъ остаются постоянными. Въ этомъ частномъ случаѣ можно указать очень простыя соотношенія между наблюдаемыми перемѣщеніями съ одной стороны и потенціалами тѣлъ и окружающей среды съ другой.

Наблюдать на опытѣ измѣненія кажущихся взаимодѣйствій тѣлъ можно при помощи слѣдующаго прибора. Два легкихъ алюминіевыхъ листочка a и a' (фиг. 1) подвѣшены на шарньерахъ къ металлическимъ стержнямъ C и C', укрѣпленнымъ на эбонито-

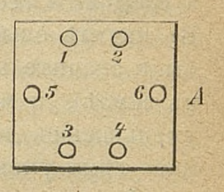


фиг. 1.

вой дощечкѣ d, которая поддерживается штативомъ B; алюминіевые листочки помѣщены внутри цилиндра Фарадея или металлической клѣтки, которую изолируютъ, помѣщая ее на стекло K; листочки a и a' соединены съ внутренними обкладками лейденскихъ банокъ A и A', внѣшнія обкладки которыхъ отведены къ землѣ.

Для пересоединеній, которыя часто требуются въ ниже описываемыхъ опытахъ, удобно пользоваться слѣдующимъ коммутаторомъ: на парафиновой пластинкѣ A (фиг. 2) помѣщаются шесть стеклянныхъ чашечекъ со ртутью; чашечки 1 и 2 соеди-

няются съ борнами электрической машины, чашечки 3 и 4—съ алюминіевыми листочками, 5 и 6—съ землею; соединенія между чашечками производятся при помощи проволочныхъ дужекъ, снабженныхъ стеклянными ручками. Для электризаціи клѣтки надо имѣть особый тройникъ, при помощи котораго одна чашечка коммутатора соединяется съ клѣткою, другая—съ однимъ изъ борновъ машины и третья—съ землею.



фиг. 2.

1-й опытъ Лейденскія банки и алюминіевые листочки соединимъ съ однимъ борномъ электрической машины, другой борнъ которой отведенъ къ землѣ; клѣтку будемъ держать пока тоже отведенною къ землѣ. По мѣрѣ вращенія электрической машины лейденскія банки и соединенные съ ними листочки электризуются все сильнѣе и сильнѣе, при чемъ листочки будутъ расходиться. Когда уголъ расхожденія листочковъ сдѣлается достаточно большимъ, прервемъ сообщеніе ихъ съ электрическою машиною; если изоляція хороша, то уголъ расхожденія листочковъ остается неизмѣннымъ въ теченіе долгаго времени. Теперь прервемъ сообщеніе клѣтки съ землею и соединимъ ее съ тѣмъ борномъ электрической машины, съ которымъ передъ тѣмъ соединялись листочки. По мѣрѣ электризаціи клѣтки уголъ расхожденія листочковъ все уменьшается и въ извѣстный моментъ дѣлается равнымъ нулю; при дальнѣйшей электризаціи клѣтки листочки опять расходятся и уголъ ихъ расхожденія непрерывно увеличивается. Итакъ въ разсматриваемомъ опытѣ отталкиваніе двухъ наэлектризованныхъ тѣлъ сперва убываетъ, въ извѣстный моментъ исчезаетъ, а затѣмъ усиливается.

Обратимъ вниманіе на то, что заряды нашихъ взаимодѣйствующихъ тѣлъ не остаются постоянными въ теченіе опыта. Пусть сначала листочки были заряжены положительно; при заряженіи клѣтки положительнымъ электричествомъ въ листочкахъ наводятся отрицательные заряды, которые прибавляются къ ихъ начальнымъ положительнымъ зарядамъ; съ постепеннымъ усиленіемъ заряда клѣтки наведенные отрицательные заряды листочковъ тоже усиливаются; вслѣдствіе этого сперва заряды листочковъ, оставаясь положительными, постепенно уменьшаются, затѣмъ исчезаютъ, наконецъ дѣлаются отрицательными и постепенно усиливаются.

Если мы обратимъ вниманіе на измѣненіе потенціаловъ, то

прежде всего замѣтимъ, что потенціалы листочковъ во все время опыта остаются неизмѣнными, такъ какъ емкости листочковъ ничтожны сравнительно съ емкостью лейденскихъ банокъ, съ которыми они соединены, мѣняется же лишь потенціалъ клѣтки, а слѣдов. и его распредѣленіе во внутреннемъ объемѣ клѣтки. Въ началѣ опыта равные между собою потенціалы листочковъ были значительно выше потенціала клѣтки (которая отводилась къ землѣ), и мы наблюдали отталкиваніе, которое постепенно уменьшалось по мѣрѣ повышенія потенціала клѣтки и вызываемаго тѣмъ уменьшенія разности потенціаловъ листочковъ и клѣтки. Когда эта разность дѣлалась равною нулю и потенціалъ внутри клѣтки повсюду становился постояннымъ мы не наблюдали никакихъ взаимодѣйствій между листочками. Когда же—при дальнѣйшемъ повышеніи потенціала клѣтки—потенціалъ ея дѣлался выше потенціала листочковъ, вновь наблюдалось отталкиваніе между ними, такъ какъ наступало неодинаковое распредѣленіе потенціала внутри клѣтки по направленію отъ листочковъ къ стѣнкамъ.

Если начнемъ теперь постепенно разряжать клѣтку, то уголъ расхожденія листочковъ будетъ уменьшаться; онъ сдѣлается равнымъ нулю, когда потенціалъ клѣтки сравняется съ потенціаломъ листочковъ; а затѣмъ станетъ снова увеличиваться и достигнетъ первоначальной величины, когда клѣтка будетъ совершенно разряжена.

Если мы соединимъ теперь клѣтку съ противоположнымъ борномъ машины, то уголъ расхожденія листочковъ станетъ сразу увеличиваться.

2-й опытъ. Разрядимъ листочки и клѣтку, отведя ихъ къ землѣ. Разобщимъ листочки одинъ отъ другого и соединимъ ихъ съ различными борнами машины; клѣтку же будемъ держать отведенною къ землѣ. По мѣрѣ электризаціи между листочками возникнетъ притяженіе; чтобы сближающіеся листочки не пришли въ соприкосновеніе и не разрядились такимъ образомъ, помѣстимъ между ними эбонитовую пластинку, укрѣпленную на отдѣльномъ штативѣ. Разобщимъ теперь листочки отъ борновъ машины; прекратимъ соединеніе клѣтки съ землею и соединимъ клѣтку съ положительнымъ борномъ машины, отрицательный борнъ которой отведенъ къ землѣ. По мѣрѣ электризаціи клѣтки листочки начинаютъ понемногу расходиться; затѣмъ повиснутъ совершен-

но вертикально, а при дальнѣйшемъ повышеніи электризаціи клѣтки они начнутъ расходиться.

Въ теченіе опыта заряды листочковъ измѣняются. Положительный зарядъ клѣтки наводитъ въ листочкахъ отрицательные заряды, которые прибавляются къ ихъ прежнимъ зарядамъ; вслѣдствіе этого въ первомъ листочкѣ сначала положительный зарядъ уменьшается, въ извѣстный моментъ исчезаетъ, а затѣмъ становится отрицательнымъ и постепенно увеличивается; во второмъ же листочкѣ отрицательный зарядъ все время увеличивается.

Обращая вниманіе на измѣненіе потенціала, мы видимъ, что въ началѣ опыта потенціалъ одного листочка былъ выше, а другого ниже, чѣмъ потенціалъ клѣтки (которая отводится къ землѣ), и въ это время мы наблюдали притяженіе. Когда же потенціалъ клѣтки сталъ выше потенціала обоихъ листочковъ, то между послѣдними наблюдалось отталкиваніе. Замѣтимъ, что въ описанномъ опытѣ потенціалъ одного листочка былъ выше нуля, а другого ниже. Изъ нижеописаннаго опыта мы убѣдимся, что указанное правило нисколько не зависитъ отъ знака потенціала.

3-й опытъ. Соединимъ листочки между собою и съ положительнымъ борномъ машины, а клѣтку и отрицательный борнъ машины отведемъ къ землѣ. Зарядивъ листочки, прервемъ ихъ сообщеніе съ машиною и разъединимъ ихъ между собою. Уменьшимъ теперь зарядъ одного изъ листочковъ, сообщивъ соединенную съ нимъ лейденскую банку съ другою вспомогательною банкою, которую затѣмъ уберемъ. Такимъ образомъ оба листочка будутъ заряжены положительно, но до различныхъ потенціаловъ.

Разобщимъ теперь клѣтку съ землею и соединимъ ее тоже съ положительнымъ борномъ машины. До электризаціи клѣтки листочки взаимно отталкивались; по мѣрѣ же ея электризаціи это отталкиваніе уменьшается, обращается въ нуль и переходитъ затѣмъ въ притяженіе, которое при нѣкоторой степени электризаціи клѣтки достигаетъ наибольшей величины; при дальнѣйшемъ увеличеніи электризаціи клѣтки притяженіе постепенно уменьшается, переходитъ чрезъ нуль и снова превращается въ отталкиваніе.

Прослѣдимъ за измѣненіемъ зарядовъ листочковъ. По мѣрѣ усиленія положительнаго заряда клѣтки въ листочкахъ наводятся отрицательные заряды, которые прибавляются къ прежнимъ положительнымъ; вслѣдствіе этого уголъ расхожденія листочковъ

уменьшается; но такъ какъ первоначальные заряды листочковъ неодинаковы, то съ постепеннымъ усиленіемъ наведенныхъ зарядовъ одинъ изъ листочковъ можетъ оставаться заряженнымъ положительно, въ то время, какъ другой зарядится отрицательно, при чемъ листочки станутъ взаимно притягиваться. При дальнѣйшемъ увеличеніи заряда клѣтки, оба листочка заряжаются отрицательно, и тогда они вновь взаимно отталкиваются.

Что же касается потенціаловъ, то легко видѣть, что въ началѣ опыта потенціалы обоихъ листочковъ (одноименные, но разной величины) были выше, чѣмъ потенціалъ окружающей клѣтки, и тогда происходило взаимное отталкиваніе. Когда же потенціалъ клѣтки измѣнился и сдѣлался выше, чѣмъ потенціалъ одного листочка, и ниже, чѣмъ другого, листочки взаимно притягивались. Наконецъ, когда потенціалъ клѣтки сдѣлался выше, чѣмъ потенціалы обоихъ листочковъ, то листочки опять взаимно отталкивались.

Имѣя въ виду все сказанное, мы можемъ вывести слѣдующее правило: если потенціалъ или убываетъ, или прибываетъ по направленію отъ обоихъ листочковъ къ клѣткѣ, то мы наблюдаемъ отталкиваніе; если же потенціалъ убываетъ по направленію отъ одного листочка къ клѣткѣ и увеличивается по направленію отъ другого листочка къ клѣткѣ, то мы наблюдаемъ притяженіе.

Наблюдаемыя притяженія и отталкиванія измѣняются съ измѣненіемъ разности потенціаловъ листочковъ и клѣтки; но, если эта разность остается постоянною, то наблюдаемое нами напр. отталкиваніе тоже будетъ оставаться постояннымъ, независимо отъ абсолютной величины потенціаловъ. Въ этомъ легко убѣдиться на нижеслѣдующемъ опытѣ.

4-й опытъ. Опустимъ въ нашу клѣтку два бузинныхъ шарика, подвѣшенныхъ на шелковинкахъ и наэлектризуемъ ихъ; при этомъ шарики разойдутся на нѣкоторый уголъ. Какъ бы мы теперь ни электризовали клѣтку, уголъ расхожденія шариковъ не будетъ измѣняться Но теперь, понятно, разность потенціаловъ шариковъ и клѣтки остается неизмѣнною.

5-й опытъ. Отведя листочки къ землѣ, будемъ электризовать одну клѣтку: листочки разойдутся. Клѣтка наводитъ въ обоихъ листочкахъ одноименные заряды (разноименные со своимъ собственнымъ зарядомъ).

Если же листочки соединить съ клѣткою, то они не будутъ расходиться, какъ бы сильно ни электризовалась клѣтка, ибо въ этомъ случаѣ никакихъ зарядовъ въ листочкахъ не наводится.

Можно было бы показать, какъ измѣняется притяженіе между наэлектризованными тѣлами и нейтральными, но на описаніи этихъ опытовъ мы не будемъ останавливаться.

Кіевъ, 1902 г.

О холодѣ

Дж. Дюара[1]).

1. *Исторія холода и абсолютнаго нуля.* Природа тепла и холода всегда останавливала на себя вниманіе людей, даже при ихъ первыхъ размышленіяхъ о внѣшнемъ мірѣ. Для нашихъ цѣлей будетъ достаточно, если, оставляя въ сторонѣ древнихъ философовъ и даже средневѣковыхъ алхимиковъ, мы начнемъ съ той эпохи, которая слѣдовала за великимъ возрожденіемъ наукъ.

Вопросами о теплѣ и холодѣ интересовался уже Бэконъ; это видно изъ того, что въ различныхъ своихъ сочиненіяхъ онъ часто возвращался къ этому вопросу, постоянно жалуясь на недостаточность средствъ для достиженія сильнаго холода. Такъ въ своей книгѣ „Sylva Sylvarum", въ главѣ „Опыты, касающіеся образованія холода", Бэконъ говоритъ: „Образованіе холода есть такое дѣло, которое весьма достойно изслѣдованія, какъ для его примѣненія, такъ и для разоблаченія причинъ. Тепло и холодъ—это двѣ руки природы, которыми она преимущественно работаетъ. Въ видѣ огня мы имѣемъ тепло готовымъ; что же касается холода, то мы должны ждать, когда онъ наступитъ, или же искать его въ глубокихъ погребахъ или на высокихъ горахъ, да и то мы не можемъ добыть его очень сильнымъ; тогда какъ очагъ

---

[1]) Президентское посланіе на Съѣздѣ Британской Ассоціаціи 1902 г. въ Бельфастѣ (Address by Prof. *J. Dewar*, British Association for the Advancement of Science. Belfast. 1902). Французскій переводъ этого посланія (Rev. Scient.) озаглавленъ „La science du froid".

огня несравненно жарче лѣтняго солнца, погреба и горныя вершины не холоднѣе зимняго мороза".

Р. Бойль продолжалъ развивать мысли Бэкона. Въ 1682 г. Бойль прочелъ въ Королевскомъ Обществѣ мемуаръ „Новые опыты и наблюденія, касающіеся холода, или опытная исторія холода". Это самая полная исторія всего того, что тогда знали о холодѣ; но еще важнѣе, что здѣсь описаны многочисленныя опыты, которые самъ Бойль сдѣлалъ съ охлаждающими смѣсями и съ дѣйствіемъ послѣднихъ на различныя вещества. Обыкновенно онъ употреблялъ смѣсь снѣга или льда съ солью. Въ теченіе своихъ опытовъ Бойль сдѣлалъ много важныхъ наблюденій; такъ онъ замѣтилъ, что соли, неспособствующія таянію снѣга или льда, не даютъ сильнаго холода; онъ показалъ, что при замерзаніи вода расширяется на 1/9 своего объема и при этомъ разрываетъ ружейное дуло. Бойль остроумно разсуждалъ о превращеніи воды въ ледъ. „Если холодъ есть лишь отсутствіе тепла единственно вслѣдствіе удаленія той эѳирной матеріи, которая приводитъ въ движеніе мельчайшія частицы воды и этимъ самымъ заставляютъ ихъ образовать жидкость, то легко понять, что послѣ удаленія эѳирной субстанціи частицы остаются неподвижными на тѣхъ мѣстахъ, которыя онѣ занимали въ этотъ моментъ, и образуютъ твердое тѣло—ледъ". Хотя принципъ „primum frigidum" былъ принятъ многими школами философовъ, однако Бойль сомнѣвается въ существованіи совершенно холоднаго тѣла, отъ котораго другія тѣла могутъ пріобрѣтать это свойство. Всѣ эти изслѣдованія стоили Бойлю большихъ трудовъ; онъ считалъ свои результаты лишь „началомъ" на этомъ поприщѣ изслѣдованій, и за ихъ несоразмѣрность съ понесенными трудами утѣшалъ себя мыслью, что людямъ приходится одинаково страдать отъ холода и сырости, и одинаково глубоко нырять, какъ для собиранія губокъ, такъ и для отысканія жемчужинъ".

Послѣ изслѣдованій Бойля вниманіе ученыхъ было обращено на усовершенствованіе термометра. Воздушный термометръ Галилея былъ неудобенъ, и введеніе термометра съ жидкостью много способствовало расширенію нашихъ свѣдѣній о теплѣ и холодѣ. Встрѣтилось затрудненіе въ выборѣ постоянныхъ точекъ на термометрическихъ шкалахъ; этимъ вопросомъ занялись такіе люди, какъ Гюйгенсъ, Ньютонъ, Гукъ и Амонтонсъ; лишь въ началѣ 18-го столѣтія за постоянныя точки были приняты

температуры замерзанія и кипѣнія воды. Затѣмъ оставалось выбрать жидкость, найти способъ калибрированія трубочки и согласиться относительно раздѣленія шкалы.

Разнообразіе и грубость устройства прежнихъ термометровъ вносили неопредѣленность и неточность въ наблюденія, которыя дѣлались съ ихъ помощью. Это побудило Амонтонса написать два мемуара (1702), которые онъ представилъ во Французскую Академію; эти мемуары, обнаруживающіе глубокій и оригинальный умъ автора, остались очень мало извѣстными. Въ первомъ трактатѣ авторъ касается нѣкоторыхъ новыхъ свойствъ воздуха и способовъ точнаго опредѣленія температуры; онъ считаетъ, что тепло обусловливается движеніемъ частицъ тѣла, но не опредѣляетъ ближе этого движенія; онъ полагаетъ, что теплота есть общая причина всякаго движенія на землѣ и что съ отсутствіемъ тепла земля оказалась бы неподвижною въ самыхъ мельчайшихъ своихъ частицахъ. Приводимые имъ новые факты касаются измѣненія упругости нагрѣваемаго воздуха; онъ показалъ, что различныя массы воздуха, взятыя при одинакихъ начальныхъ давленіяхъ, будучи нагрѣты до температуры кипѣнія воды, пріобрѣтаютъ равныя приращенія упругости, если только объемы газовъ при этомъ не измѣняются. Далѣе онъ доказалъ, что если до нагрѣванія упругость газа будетъ удвоена или утроена, то и приращеніе его упругости, вызываемое нагрѣваніемъ до температуры кипѣнія воды, точно также удваивается или утроивается; другими словами отношеніе упругостей воздуха при двухъ опредѣленныхъ и постоянныхъ температурахъ и при неизмѣнномъ объемѣ есть величина постоянная, независящая отъ ихъ массъ или первоначальнаго давленія. Всѣ эти результаты привели къ значительному усовершенствованію воздушнаго термометра; нововведеніе состояло въ томъ, что температура оцѣнивалась длиною ртутнаго столбика въ термометрѣ. Въ слѣдующемъ году Амонтонсъ представилъ второй мемуаръ, въ которомъ онъ опредѣленнѣе высказывается, что въ его термометрѣ степень тепла измѣряется высотою ртутнаго столбика, который тепло поддерживаетъ, благодаря упругости воздуха; откуда слѣдуетъ, что предѣльный холодъ термометра будетъ тотъ, при которомъ упругость воздуха исчезнетъ; это, говоритъ онъ, будетъ гораздо большій холодъ, чѣмъ то, что мы называемъ „очень холодно", ибо, какъ показали опыты, если при кипѣніи воды упругость воздуха достигаетъ 1854 mm., то при замерзаніи воды въ немъ

сохраняется упругость въ 1308 mm., и потому остается еще много тепла. На шкалѣ дѣленій, принятой Амонтонсомъ; самый большой зимній холодъ отмѣчался цифрою 50, а сильнѣйшая лѣтняя жара—цифрою 58; температура кипящей воды соотвѣтствовала 73 дѣленію, а нуль его шкалы лежалъ на 52 дѣленія ниже точки замерзанія. Изъ всего сказаннаго видно, что Амонтонсъ признавалъ, что употребленіе воздуха, какъ термометрическаго вещества, приводитъ къ заключенію о существованіи нуля температуры; такимъ образомъ его шкала въ сущности не отличалась отъ нашей абсолютной шкалы. Изъ своихъ опытовъ Амонтонсъ заключилъ, что воздухъ совершенно лишится упругости, если онъ охладится ниже точки замерзанія воды на 2·5 того термометрическаго разстоянія, которое отдѣляетъ точку кипѣнія отъ точки замерзанія; иными словами, если разницу между этими двумя дѣленіями шкалы принять за 100 градусовъ, то нуль воздушнаго термометра Амонтонса будетъ -250°, что замѣчательно близко къ нашей теперешней оцѣнкѣ этой температуры въ -273°.

Надо сознаться, что изслѣдованія Амонтонса испытали ту судьбу, которая такъ часто постигаетъ труды ученыхъ, слишкомъ опередившихъ свой вѣкъ: они не были оцѣнены по достоинству. Только въ своей „Пирометріи" (1779 г.) Ламбертъ описываетъ повторенія опытовъ Амонтонса и возвращается къ вопросу объ абсолютномъ нулѣ. Ламбертъ сдѣлалъ свои наблюденія очень тщательно и, пользуясь ими, опредѣлилъ абсолютный нуль въ -270°. Онъ замѣчаетъ, что температура нуля градуса есть та, которую можно назвать *абсолютнымъ холодомъ*, и что при этой температурѣ объемъ воздуха почти исчезаетъ и плотность его сравнивается съ плотностью воды: частицы воздуха касаются другъ друга. Отсюда можно заключить, что газообразное состояніе обусловливается теплотою.

Около того же времени проф. Брауномъ въ Москвѣ было сдѣлано замѣчательное открытіе: въ суровую зиму 1759 г. ему удалось—при помощи смѣси снѣга и азотной кислоты - заморозить ртуть. Если вспомнить, что ртуть считали за тѣло существенно жидкое, то легко понять какой интересъ былъ вызванъ открытіемъ, что ртуть можетъ отвердѣвать. Этотъ интересъ усиливался еще тѣмъ, что Браунъ наблюдалъ на своемъ термометрѣ температуру—200° въ тотъ моментъ, когда ртуть въ немъ замерзала. Гутчинсъ повторилъ эти наблюденія въ Гуд-

зонскомъ заливѣ; новыя наблюденія показали, что ртуть замерзаетъ лишь при температурѣ—40° Ц.; ошибка первыхъ наблюденій обусловливалась сильнымъ сжатіемъ ртути при ея замерзаніи. Такимъ образомъ допускавшееся существованіе сильныхъ холодовъ, естественныхъ или искуственныхъ, не подтверждалась.

Однако такіе выдающіеся ученые, какъ Лапласъ и Лавуазье, доказывали возможность существованія нуля температуры, весьма отличнаго отъ того, который дается газовымъ термометромъ; въ своемъ знаменитомъ трактатѣ „О теплотѣ" они помѣщаютъ этотъ нуль между 1500 и 3000° ниже точки замерзанія воды и во всякомъ случаѣ не выше 600°. Въ своихъ „Элементахъ химіи" (1792) Лавуазье еще болѣе понижаетъ нуль температуры. „Мы еще очень далеки, говоритъ онъ, отъ образованія абсолютнаго холода или полнаго лишенія тепла, ибо мы не знаемъ такого сильнаго холода, который бы нельзя было еще усилить; отсюда слѣдуетъ, что мы неспособны привести частицы ко взаимному соприкосновенію, и что эти частицы не касаются другъ друга ни въ одномъ изъ извѣстныхъ намъ состояній вещества".

Въ началѣ 19-го столѣтія Дальтонъ въ своей „Химической философіи" вычисляетъ десять значеній абсолютнаго нуля и изъ нихъ выбираетъ одно, именно—3000° Ц. Блакъ относится весьма осторожно къ вопросу о нулѣ температуры, но выражается по своему обыкновенію очень ясно. „Мы ничего не знаемъ о низшей степени или о началѣ тепла. Было сдѣлано нѣсколько остроумныхъ попытокъ оцѣнить его, но всѣ онѣ оказались неудовлетворительными. Наши свѣдѣнія о температурахъ могутъ уподобиться тому, что бы мы могли знать о цѣпи, оба конца коей отъ насъ скрыты и одна середина которой видна. Мы могли бы сдѣлать мѣтки на нѣкоторыхъ звеньяхъ и перенумеровать остальныя по отношенію къ отмѣченнымъ; но, не зная разстояній этихъ звеньевъ отъ конца цѣпи, мы не могли бы ни сравнивать этихъ разстояній между собою, ни сказать, что такое-то кольцо въ два раза дальше отъ конца, чѣмъ другое".

Интересно замѣтить, что Блакъ былъ однако хорошо знакомъ съ трудами Амонтонса и вполнѣ раздѣлялъ его взгляды на природу воздуха. Такъ, обсуждая общія причины испаренія, Блакъ говоритъ, что—по мнѣнію нѣкоторыхъ философовъ—„совершенно упругія жидкости (т. е. газы) производятся и поддерживаются дѣйствіемъ тепла. Амонтонсъ, выдающійся членъ преж-

ней академіи наукъ въ Парижѣ, былъ первымъ, высказавшимъ этотъ взглядъ относительно воздуха; Амонтонсъ полагалъ, что воздухъ лишится своей упругости и сгустится въ жидкость или даже замерзнетъ, если ему сообщить достаточный холодъ; воздухъ отличается отъ другихъ веществъ несравненно большею летучестью и потому обращается въ паръ и поддерживается въ этомъ состояніи гораздо меньшимъ количествомъ тепла, чѣмъ какой-либо другой газъ; вотъ причина, по которой—пока міръ не измѣнится—воздухъ не можетъ принять иную форму, чѣмъ та, въ которой онъ намъ извѣстенъ". Блакъ сдѣлалъ лично вкладъ въ ученіе о низкихъ температурахъ: основываясь на ученіи о скрытой теплотѣ таянія льда, онъ объяснилъ охлаждающее дѣйствіе смѣси льда съ солями или съ кислотами; подобнымъ же образомъ онъ объяснилъ образованіе холода въ замѣчательномъ опытѣ Куллена, который испарялъ эфиръ подъ колоколомъ воздушнаго насоса. Примѣняя свои открытія надъ скрытою теплотою, Блакъ давалъ основательныя объясненія всѣхъ извѣстныхъ въ то время явленій низкихъ температуръ.

Послѣ того, какъ законы газовъ были окончательно формулированы Гэ-Люссакомъ и Дальтономъ, вопросъ объ абсолютномъ нулѣ былъ возобновленъ Клеманомъ и Дезормомъ; въ 1812 г. они представили французской Академіи мемуаръ по этому вопросу, который сперва былъ отвергнутъ, но затѣмъ въ 1819 г. напечатанъ. Изъ наблюденій надъ нагрѣваніемъ воздуха, устремляющагося въ пустоту, и основываясь на невѣрной гипотезѣ, Клеманъ и Дезормъ нашли—267° для абсолютнаго нуля; они доказывали, что при этой температурѣ въ—267° газы до того сжимаются, что объемъ ихъ становится незамѣтнымъ, и упругость ихъ исчезаетъ. Гэ-Люссакъ явился самымъ ярымъ противникомъ высказанныхъ идей; его точка зрѣнія сводилась къ слѣдующему: быстрое сжатіе воздуха до 1/5 начальнаго объема нагрѣваетъ его до 300°; при болѣе сильномъ и мгновенномъ сжатіи его температура можетъ быть доведена до 1000 или 2000°; наоборотъ, если воздухъ 5 atm. вдругъ расширяется, то онъ поглотитъ столько же тепла, сколько его развивалъ при сжатіи, и потому онъ охладится на 300°, слѣд. если воздухъ сперва сжать до 50 atm. или болѣе, то холодъ, который произойдетъ при его внезапномъ расширеніи, не имѣетъ границъ. На эту критику Клеманъ и Дезормъ отвѣчали, что гипотеза Гэ-Люссака едва-ли вѣрна, и что изъ нея слѣдуетъ, что ограниченное количество мате-

ріи вмѣщаетъ въ себѣ безграничный запасъ тепла; а въ такомъ случаѣ теплота была бы совершенно отлична отъ доступной измѣренію величины. Естественнѣе предположить, что количество тепла въ тѣлѣ аналогично массѣ газа, наполняющаго сосудъ; эта масса уменьшается по мѣрѣ того, какъ мы приближаемся къ совершенной пустотѣ. Впрочемъ реализація абсолютнаго нуля также невозможна, какъ осуществленіе совершенной пустоты во второмъ. Однако нуль давленія не подлежитъ сомнѣнію, точно также нечего сомнѣваться и въ существованіи нуля температуры. Теперь мы знаемъ, что Гэ-Люссакъ ошибался, полагая, что если опредѣленное сжатіе газа нагрѣваетъ его на извѣстное число градусовъ, то такое же расширеніе охладитъ его на то же число градусовъ.

Съ этого времени нуль температуры признается, какъ идеальная постоянная точка; но для того, чтобы отмѣтить гипотетичность этой точки, условились различать нуль абсолютной температуры и абсолютный нуль.

Весь вопросъ получилъ совершенно новый видъ, когда въ 1848 г., послѣ того какъ Джаулемъ былъ опредѣленъ механическій эквивалентъ тепла, лордъ Кельвинъ обратилъ вниманіе на принципы, положенные въ основаніе мемуара Карно „О движущей силѣ огня", и примѣнилъ эти принципы къ абсолютному способу измѣренію температуръ, совершенно независимому отъ свойствъ того или другого вещества. Сущность способа заключается въ томъ, что для данной разности температуръ нагрѣвателя и холодильника совершенная машина даетъ опредѣленную работу, къ какой бы части шкалы ни относились эти температуры. Принимая тѣ же постоянныя точки, что и въ стоградусной шкалѣ, и полагая, что промежутокъ между ними раздѣленъ на сто градусовъ, лордъ Кельвинъ показалъ, что такіе градусы лишь весьма мало отличаются отъ градусовъ воздушнаго термометра Реньо. Нуль новой шкалы былъ опредѣленъ изъ того соображенія, что если холодильникъ поддерживается при этой температурѣ, то машина Карно совершаетъ работу механически эквивалентную теплотѣ, заимствованной изъ нагрѣвателя. Отсюда получается нуль, лежащій на 273° ниже точки замерзанія воды, т. е. въ сущности тотъ же, какой выводится изъ изученія свойствъ газовъ. Доказать примѣненіемъ законовъ термодинамики, не только реальность нуля температуры, но и его положеніе на 273° ниже точки замерзанія, было большимъ успѣхомъ.

Такъ какъ никто не пытался даже оспаривать твердыя основанія теоріи и опыта, на которыхъ лордъ Кельвинъ построилъ свою термодинамическую шкалу, то существованіе опредѣленнаго нуля температуры было признано за основное научное положеніе.

2. *Сжиженіе газовъ и непрерывность состояній.* Въ своихъ теоретическихъ разсужденіяхъ химики давно уже разсматривали такія температуры, которыхъ не могли осуществлять на опытѣ. Правда Кулленъ, учитель Блака, показалъ, какъ можно понижать температуру испареніемъ летучихъ тѣлъ, напр. эфира. Съ своей стороны Дэви и Фарадей сжижили наиболѣе сгущающіеся газы; при чемъ первый показалъ, что быстрымъ возвращеніемъ этихъ жидкостей въ газообразное состояніе можно получить очень сильный холодъ. Но все-таки не доставало сильнаго и доступнаго средства для полученія очень низкихъ температуръ. Этотъ недостатокъ былъ пополненъ Тилорье, который въ 1835 г. изобрѣлъ способъ приготовлять большія количества жидкой углекислоты и затѣмъ нашелъ что при испареніи на открытомъ воздухѣ эта жидкость превращается въ снѣгъ. Фарадей тотчасъ же извлекъ пользу изъ этого сильнаго охлаждающаго средства. Въ разрѣженномъ воздухѣ онъ понизилъ температуру кипѣнія углекислоты съ -78^0 Ц. до -110^0 Ц.; при состояніи этой низкой температуры съ давленіемъ ему удалось къ 1844 г. сжижить всѣ газы за исключеніемъ трехъ химически простыхъ—водорода, азота и кислорода—и трехъ сложныхъ—окиси углерода, болотнаго газа и закиси азота. Двадцать пять лѣтъ спустя Андріусъ, употребляя гораздо бо́льшія давленія, пытался вызвать измѣненіе состоянія этихъ „постоянныхъ" газовъ; онъ нашелъ, что—при сочетаніи температуры твердой углекислоты съ давленіемъ 300 atm.—ни одинъ изъ этихъ газовъ не даетъ признаковъ сжиженія, но что съ постепеннымъ возростаніемъ давленія эти газы сравнительно менѣе сжимаются. Въ это же самое время Реньо и Магнусъ окончили свои изслѣдованія надъ законами Бойля и Гэ-Люссака. Около 1862 г. Джаулемъ и лордомъ Кельвиномъ были сдѣланы чрезвычайно важные опыты надъ „термическимъ эффектомъ жидкостей въ движеніи"; изъ термометрическихъ эффектовъ газовъ, протекающихъ подъ давленіемъ чрезъ скважистую перегородку, были получены важныя данныя для изученія взаимодѣйствій частицъ газа. Однако ни одинъ изъ сжижаемыхъ газовъ не былъ еще изученъ въ широкихъ предѣлахъ температуры. Это было сдѣлано

лишь Андріусомъ въ 1869 г. и его Bakeriane Lecture „О непрерывности газообразнаго и жидкаго состояній вещества“ составило эпоху въ исторіи вопроса. Въ теченіе этихъ изслѣдованій Андріусъ замѣтилъ, что въ жидкой углекислотѣ, нагрѣтой до 31° Ц., исчезаетъ рѣзко очерченная поверхность, раздѣлявшая жидкость и газъ, и что затѣмъ все пространство занимается однородною жидкостью, въ которой—при внезапномъ уменьшеніи давленія или незначительномъ пониженіи температуры—образуются перемѣщающіеся слои, вѣроятно вслѣдствіе мѣстныхъ измѣненій плотности. При температурахъ выше 31° Ц. раздѣленіе на два различныхъ состоянія не удается даже при давленіяхъ въ 400 atm. Эту предѣльную температуру для измѣненія газообразнаго состоянія въ жидкое Андріусъ назвалъ *критическою температурою*; онъ показалъ, что эта температура постоянна, но особая для каждаго вещества, и что она всегда связана съ опредѣленнымъ давленіемъ, то же особымъ для каждаго тѣла. Такимъ образомъ были опредѣлены эти двѣ постоянныя—критическія температура и давленіе, получившія громадное значеніе для послѣдующихъ изслѣдованій; было вполнѣ доказано, что „газъ и жидкость суть лишь двѣ отдаленныя формы одного состоянія вещества, изъ коихъ одна можетъ быть непрерывно переведена въ другую“.

Въ 1873 г. фанъ деръ Ваальсъ обнародовалъ мемуаръ „О непрерывности газообразнаго и жидкаго состояній“, гдѣ между прочимъ дается извѣстное *уравненіе непрерывности*. Главное достоинство этого уравненія заключается въ томъ, что оно не эмпирическое (какъ всѣ прежнія), а основано исключительно на механическихъ принципахъ.

Еще раньше того Джемсъ Томсонъ, признавая, что прямолинейная вѣтвь въ изотермѣ Андріуса невозможна съ физической точки зрѣнія, предложилъ въ ней поправку, а именно: считать всю изотерму непрерывною и прямолинейную вѣтвь замѣнимъ ∽-образною линіею. Конечно, это соображеніе Дж. Томсона оказало существенную помощь ф. д. Ваальсу. То мѣсто изотермы, гдѣ должна была обнаружиться непрерывность обоихъ состояній, представляла не малое затрудненіе ф. д. Ваальсу, но онъ успѣшно справился съ этимъ затрудненіемъ. Онъ далъ вполнѣ удовлетворительное объясненіе минимуму произведенія объема на давленіе, замѣченному въ изотермахъ Реньо. Примѣняя новое уравненіе къ опредѣленію термическихъ коэффиціен-

товъ объема и давленія, ф. д. Ваальсъ показалъ, что хотя они и имѣютъ почти одинакія числовыя значенія, тѣмъ не менѣе независимы другъ отъ друга. Данное имъ уравненіе непрерывности содержитъ три постоянчыя вмѣсто одной, какъ то было въ прежней формулѣ Бойля и Шарля; но послѣдняя выражала связь между температурою, давленіемъ и объемомъ газа, когда онъ далекъ отъ состоянія сжиженія. Изъ двухъ новыхъ постоянныхъ одна представляетъ молекулярное давленіе, обусловливаемое взаимодѣйствіемъ частицъ, другая—учетверенный объемъ частицъ. Ф. д. Ваальсъ показалъ, что если найти три постоянныя для какого-нибудь газа, то его уравненіе не только удовлетворяетъ общему характеру изотермъ, но также даетъ значенія критическихъ температуръ, давленія и объема. Въ случаѣ углекислоты теоретическіе результаты оказались въ замѣчательномъ согласіи съ экспериментальными данными Андріуса. Пріемъ ф. д. Ваальса позволяетъ опредѣлять критическія постоянныя, на основаніи точно установленныхъ данныхъ, полученныхъ изъ изученія немногихъ изотермъ газа. Такія данныя мы находимъ въ мемуарѣ Амага „Изотермы водорода, азота, кислорода, этилена и др." (1880); на основаніи данныхъ Амага стало возможнымъ сравнительно точно вычислять критическія данныя для такъ называемыхъ постоянныхъ газовъ, что и было сдѣлано Сарро въ 1882 г. Въ то же время опыты Пикте и Калльете дали толчокъ дальнѣйшему изслѣдованію постоянныхъ газовъ. Статическое сжиженіе кислорода было произведено Врублевскимъ въ 1883 г., при чемъ были подтверждены въ существенныхъ чертахъ теоретическіе выводы изъ уравненія ф. д. Ваальса. Сжиженіе кислорода и воздуха было достигнуто употребленіемъ жидкаго этилена, который, непрерывно испаряясь въ пустотѣ, можетъ поддерживать температуру въ -140°. Съ того времени жидкіе кислородъ и воздухъ сдѣлались сильными „охлаждающими смѣсями" для дальнѣйшихъ изслѣдованій: они позволяли достигать температуры на 200° ниже таянія льда.

Дальнѣйшее развитіе теоретической стороны вопроса было сдѣлано ф. д. Ваальсомъ въ его „теоріи соотвѣтственныхъ состояній". Онъ называетъ соотвѣтственными состояніями двухъ тѣлъ такія, въ которыхъ отношенія температуры, давленія и объема къ критическимъ температурѣ, давленію и объему одинаковы для обоихъ тѣлъ. Пользуясь этимъ новымъ положеніемъ ф. д. Ваальсъ вывелъ цѣлый рядъ замѣчательныхъ положеній, отчасти

новыхъ, отчасти извѣстныхъ уже, въ качествѣ эмпирическихъ законовъ, отчасти дополняющихъ и исправляющихъ ошибочные или приближенные законы. Такъ напр., доказавъ копповскій законъ молекулярныхъ объемовъ, ф. д. Ваальсъ изъ наблюденій надъ парами эфира вычислилъ температуру кипѣнія углекислоты, и доказалъ, что при соотвѣтственныхъ температурахъ молекулярная теплота пропорціональна критической температурѣ и что при одинакихъ условіяхъ термическій коэффиціентъ объема жидкости обратно-пропорціоналенъ критической температурѣ, а коэффиціентъ сжимаемости жидкости обратно-пропорціоналенъ критическому давленію. Всѣ эти положенія и выводы въ общемъ правильны, хотя позднѣйшіе опыты и показали нѣкоторыя несогласія, которыя еще требуютъ объясненій Не разъ пытались дополнить уравненіе ф. д. Ваальса такъ, чтобы вполнѣ согласовать его съ опытомъ; нѣкоторыя изъ этихъ попытокъ были чисто эмпирическія, другія основывались на теоріи. Клаузіусъ, Сарро, Врублевскій, Бателли и др. подходили къ рѣшенію эмпирически и, оставляя безъ измѣненія постоянную, зависящую отъ объема частицъ, старались измѣнить постоянную, выражающую молекулярное давленіе; ихъ успѣхъ обусловливался тѣмъ, что вмѣсто трехъ постоянныхъ, они вводили большее число, иногда не менѣе десяти. Съ другой стороны рядъ замѣчательныхъ теоретическихъ изысканій былъ сдѣланъ самимъ ф. д. Ваальсомъ, Камерлингъ-Оннесомъ, Кортвегомъ, Егеромъ, Больцманомъ, Діэтеричи, Ринганумомъ и др., направленный къ тому, чтобы, сохраняя безъ измѣненія постоянную, зависящую отъ молекулярнаго давленія, измѣнить другую постоянную.

Теорія ф. д. Ваальса оказала важное вліяніе на опытныя изслѣдованія и помогла разрѣшить труднѣйшія задачи о сжиженіи постоянныхъ газовъ. Наибольшій тріумфъ этой теоріи заключался въ томъ, что критическія постоянныя и температура кипѣнія водорода, которыя Врублевскій вычислилъ изъ изотермъ этого газа, составленныхъ для температуръ гораздо выше критической, оказались замѣчательно близкими къ тѣмъ ихъ значеніямъ, которыя впослѣдствіи были найдены изъ опыта. Если бы впослѣдствіи удалось открыть новый газъ болѣе летучій, чѣмъ водородъ, и не поддающійся сжиженію, то изъ одного изученія изотермъ этого газа для температуръ болѣе высокихъ, чѣмъ критическая, руководясь закономъ соотвѣтственныхъ состояній, можно будетъ вычислить его постоянныя для жидкаго состоянія.

Не будетъ преувеличеніемъ сказать, что въ вопросѣ о непрерывности состоянія вещества надо вернуться къ циклу Карно, чтобы найти что-нибудь болѣе важное, чѣмъ теорія ф. д. Ваальса и вытекающіе изъ нея законы соотвѣтственныхъ состояній.

Изъ сказаннаго выше ясно, что—благодаря работамъ Андріуса, ф. д. Ваальса и др.—теорія далеко опередила опытъ. Мы могли вычислить постоянныя и предсказать простѣйшія физическія свойства жидкихъ кислорода, водорода или азота гораздо раньше, чѣмъ который-либо изъ нихъ былъ полученъ въ жидкомъ состояніи, и можно было подвергнуть теорію опытной повѣркѣ. Лѣтъ 70 тому назадъ химики искали средства для полученія температуры на 100° ниже точки замерзанія воды; въ послѣднія 10 лѣтъ они стремятся спуститься еще на 100°. Нужно-ли говорить, что трудности возростали скорѣе въ геометрической, чѣмъ въ ариѳметической пропорціи; о размѣрѣ этихъ трудностей можно судить изъ того, что сжиженіе воздуха въ атмосферѣ обыкновенной лабораторіи есть такой же подвигъ, какъ полученіе жидкой воды изъ пара, нагрѣтаго до температуры бѣлаго каленія, при условіи, что служащіе для того приборы и всѣ окружающіе предметы нагрѣты до той же высокой температуры. Главная трудность была не столько въ томъ, чтобы произвести сильный холодъ, сколько въ томъ, чтобы разъ полученный холодъ сохранить въ перегрѣтой средѣ. Обыкновенные непроводники непримѣнимы вслѣдствіе ихъ громоздкости и непрозрачности, а при опытахъ съ крайними средствами существенно важно, чтобы продукты были видимы и чтобы съ ними можно было легко обращаться. Въ 1892 г., размышляя надъ этими затрудненіями, я вспомнилъ одинъ принципъ, примѣнявшійся лѣтъ 20 тому назадъ въ нѣкоторыхъ калориметрическихъ опытахъ для предохраненія нагрѣтыхъ тѣлъ отъ охлажденія, и мнѣ показалось, что онъ, примѣнимъ также и къ предохраненію холодныхъ тѣлъ отъ нагрѣванія. Такимъ образомъ я попробовалъ сохранять сжиженный газъ въ сосудахъ съ двойными стѣнками, воздухъ между которыми былъ сильно разрѣженъ; опытъ показалъ, что въ такомъ „пустомъ сосудѣ" жидкій воздухъ испаряется въ пять разъ медленнѣе, чѣмъ въ томъ же сосудѣ съ воздухомъ между стѣнками; настолько конвекція тепла частицами газа уменьшается сильнымъ разрѣженіемъ. Вскорѣ оказалось возможнымъ устроить эти сосуды такъ, чтобы ихъ лучеиспусканіе было тоже почти устранено; было именно найдено, что если внутренняя

стѣнки сосуда покрыть блестящимъ слоемъ серебра, то излученіе тепла уменьшается въ 6 разъ сравнительно съ излученіемъ такого же сосуда безъ металлическаго покрова. Полный эффектъ сильнаго разрѣженія и посеребренія выражается уменьшеніемъ потери тепла до 3%. Доброкачественность такихъ сосудовъ зависитъ отъ степени разрѣженія между стѣнками, а холодъ является лучшимъ средствомъ для его достиженія; стоитъ только все пространство, которое мы желаемъ разрѣдить, наполнить легко осѣдающимъ паромъ, и затѣмъ заморозить этотъ паръ въ сосудѣ, соединенномъ съ главнымъ, отъ котораго потомъ онъ отпаивается. Преимущества этого способа заключаются въ томъ, что онъ не требуетъ разрѣжающаго насоса и что разрѣженія, которое можетъ быть имъ достигнуто теоретически говоря, не имѣетъ предѣла. Дѣло идетъ быстро, если за „охлаждающую смѣсь" взять жидкій воздухъ и если употреблять пары ртути, воды или бензола. Понятно, что при употребленіи такой чрезвычайно летучей жидкости, какъ жидкій водородъ, пространство между стѣнками можно и не наполнять паромъ, ибо тогда самъ воздухъ легко осѣдаетъ; иными словами если жидкій водородъ налить въ сосудъ съ двойными стѣнками, пространство между коими наполнено воздухомъ, то послѣдній немедленно замерзаетъ, и такимъ образомъ водородъ самъ себя окружаетъ сильною пустотою. Подобнымъ же образомъ, если бы мы нашли жидкость, кипящую при 5° abs. (а не при 20°, какъ водородъ), то могли бы пространство между стѣнками сосуда наполнять водородомъ, и — вслѣдствіе замерзанія послѣдняго—получали бы тамъ высшую степень разрѣженія. „Пустые сосуды" можно устроить очень различно, и чѣмъ ниже температура, съ которою дѣлаютъ опыты, тѣмъ эти сосуды оказываются удовлетворительнѣе.

Въ опытахъ Пикте и Кальете охлажденіе вызывалось внезапнымъ расширеніемъ сильно сжатаго газа; первый изъ названныхъ ученыхъ выпускалъ сжиженный газъ въ видѣ струи, которая держалась нѣкоторое время, а послѣдній употреблялъ адіабатное расширеніе въ стеклянной трубкѣ. Ни тотъ, ни другой изъ этихъ пріемовъ не былъ годенъ для сжиженія газовъ, но оба давали цѣнныя указанія на переходъ части газа въ жидкое состояніе, ибо хотя на время въ приборѣ появлялся туманъ. Но Линде догадался, что употребленіе непрерывной струи сильно сжатаго газа въ связи съ регенеративнымъ охлажденіемъ должно привести къ сжиженію газа; ему удалось устроить машину,

основанную на этомъ принципѣ и дающую жидкій воздухъ для промышленныхъ цѣлей. Извѣстно, что Кельвинъ и Джауль доказали, что—вслѣдствіе молекулярныхъ взаимодѣйствій—сжатый газъ, проходя чрезъ скважистую перегородку или чрезъ малое отверстіе, испытываетъ охлажденіе, прямо-пропорціональное разности давленій и обратно-пропорціональное квадрату своей абсолютной температуры. Такимъ образомъ при данной разности давленій охлажденіе газа тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ниже его температура. Водородъ единственный газъ, который не охлаждается при сказанныхъ условіяхъ: вмѣсто того, онъ нагрѣвается. Причина такой аномаліи заключается въ томъ, что для каждаго газа существуетъ *температура обращенія*, выше которой газъ, внезапно расширяясь, нагрѣвается, а ниже—охлаждается; эта температура обращенія равна критической, увеличенной въ 6·75 раза. Успѣшное дѣйствіе машины Линде обусловливается тѣмъ, что въ ней сильно сжатый воздухъ расширяется при температурѣ, которая гораздо ниже температуры обращенія.

3. *Жидкій водородъ и гелій.* Послѣ того, какъ были найдены способы полученія жидкаго воздуха въ большихъ количествахъ, явилась возможность взяться за гораздо болѣе трудную задачу—за сжиженіе водорода.

Водородъ въ многихъ отношеніяхъ представляетъ особый интересъ. Изученіе его химическихъ свойствъ привело выдающихся ученыхъ, какъ Фарадея, Дюма, Даніэля, Грегэма и Андріуса, къ заключенію, что если бы когда-нибудь удалось его сжижить или заморозить, то онъ обладалъ бы всѣми свойствами металла. Одинъ только Одлингъ, мой уважаемый предшественникъ, высказывалъ другой взглядъ; судя по его соединеніямъ съ хлоромъ и съ основаніями, Одлингъ принималъ водородъ за нейтральное или промежуточное тѣло и не допускалъ, чтобы въ жидкомъ или твердомъ состояніи онъ могъ имѣть видъ металла; это предвидѣніе Одлинга вполнѣ подтвердилось чрезъ тридцать семь лѣтъ.

Водородъ былъ сжиженъ въ 1898 г. Жидкій водородъ есть безцвѣтная и прозрачная жидкость; онъ ограниченъ рѣзкою поверхностью, легко раздѣляется на капли, не смотря на то, что его поверхностное натяженіе въ 35 разъ меньше, чѣмъ воды, Жидкость эта не проводитъ электричества; она слабо діамагнитна. По сравненію съ равнымъ объемомъ жидкаго воздуха жидкій водородъ требуетъ въ пять разъ меньшую теплоту для сво-

его испаренія; но его удѣльная теплота въ 10 разъ больше, чѣмъ жидкаго воздуха, или въ 5 разъ больше, чѣмъ воды. Термическій коэффиціентъ объема жидкаго водорода замѣчателенъ: онъ въ 10 разъ больше, чѣмъ у газообразнаго водорода. Эта самая легкая изъ извѣстныхъ намъ жидкостей, ея плотность 1/4 относительно воды. Эта самая холодная жидкость: при атмосферномъ давленіи она кипитъ при—252·5° Ц. или 20·5° abs. Ея критическая температура около 29° abs. и критическое давленіе не болѣе 15 atm. Пары водорода, выдѣляющіеся изъ жидкости, имѣютъ ту же плотность, какъ воздухъ, т. е. въ 14 разъ тяжеле газообразнаго водорода при обыкновенной температурѣ. Разрѣженіе надъ жидкимъ водородомъ понижаетъ его температуру до—258°; тогда жидкость отвердѣваетъ и представляетъ какъ бы замерзшій туманъ; если разрѣженіе еще усиливается, то температура можетъ быть доведена до—260° Ц. или 13° abs.; эта самая низкая температура, которую когда-либо удавалось наблюдать! Твердый водородъ можно также получить въ видѣ чистаго и прозрачнаго льда, тающаго при 15° abs. и подъ давленіемъ 55 mm.; плотность его 1/11 сравнительно съ водою.

Такіе холода замораживаютъ всѣ извѣстныя газообразныя вещества, за исключеніемъ одного; такимъ образомъ жидкій водородъ вводитъ изслѣдователя въ міръ твердыхъ тѣлъ. Охлаждающее дѣйствіе жидкаго водорода замѣчательно. Если вынуть вату, которой затыкаютъ отверстіе пустаго сосуда съ жидкимъ водородомъ, тамъ тотчасъ же образуется снѣгъ—это замерзаетъ воздухъ, соприкасаясь съ холодными парами, поднимающимися изъ жидкаго водорода. Этотъ твердый воздухъ падаетъ на дно сосуда и собирается въ видѣ бѣлаго снѣга, который тонетъ въ жидкомъ водородѣ. Если пробирку погрузить въ жидкій водородъ, то она наполняется твердымъ воздухомъ; если же затѣмъ пробирку вынуть, то она покрывается съ обѣихъ сторонъ жидкимъ воздухомъ: внутри отъ таянія твердаго воздуха, а снаружи отъ осѣданія газообразнаго. Если кусокъ ваты обмокнуть въ жидкій водородъ и поднести къ полюсу сильнаго электромагнита, то она притягивается къ послѣднему; однако не слѣдуетъ думать, чтобы жидкій водородъ былъ магнитнымъ тѣломъ; тутъ притягивается не вата и не водородъ, который сейчасъ же испаряется, а атмосферный кислородъ, который отъ страшнаго холода замерзаетъ внутри ваты и который, какъ извѣстно, обладаетъ магнитными свойствами.

Сильная способность конденсаціи, которою обладаетъ жидкій водородъ, даетъ простое средство для образованія пустоты, которая приближается къ совершенной пустотѣ. Если запаянную трубку съ воздухомъ погрузить въ жидкій водородъ, воздухъ въ трубкѣ замерзаетъ и надъ нимъ образуется пустота, чрезъ которую электрическій разрядъ проходитъ лишь съ большимъ трудомъ.

Жидкіе воздухъ, водородъ и др. имѣютъ важное примѣненіе къ химическому анализу: если смѣсь газовъ охлаждена жидкимъ кислородомъ, то всѣ газы смѣси сжижаются за исключеніемъ лишь тѣхъ, которые сжижаются труднѣе, чѣмъ кислородъ; если этотъ газообразный остатокъ въ свою очередь охлаждается жидкимъ водородомъ, то происходитъ новое раздѣленіе, и все, что менѣе летуче, чѣмъ водородъ, обращается въ жидкость или въ твердое тѣло. Такимъ путемъ удалось изолировать гелій изъ смѣси, въ которой его—было не болѣе 1/10 процента.

Испареніемъ твердаго водорода подъ уменьшеннымъ давленіемъ мы приближаемся на 13 или 14° къ нулю; но здѣсь мы принуждены остановиться. Это разстояніе въ 13° съ перваго взгляда кажется незначительнымъ по сравненію съ сотнями градусовъ, которые мы уже преодолѣли; но отвоевать одинъ градусъ внизу шкалы совершенно иное дѣло, чѣмъ преодолѣть градусъ между нормальными температурами; и дѣйствительно, пройти это разстояніе въ нѣсколько градусовъ, которое еще отдѣляетъ насъ отъ нуля, будетъ успѣхомъ, превосходящимъ все то, что до сихъ поръ было сдѣлано въ этой области. Тутъ двойная трудность, обусловливаемая какъ самимъ процессомъ, такъ и матеріаломъ. Примѣненіе методовъ, употребляемыхъ для сжиженія газовъ, становится тѣмъ труднѣе и мучительнѣе, чѣмъ болѣе понижается температура; такъ переходъ отъ жидкаго воздуха къ жидкому водороду—промежутокъ въ 60°—столь же труденъ съ точки зрѣнія термодинамики, какъ скачокъ въ 150°, который дѣлается отъ жидкаго хлора къ жидкому воздуху. Если бы удалось открыть газъ, который былъ во столько же разъ летучѣе водорода, восколько послѣдній летучѣе азота, то можно бы было опуститься до 5°; если даже предположить, что откроется второе гипотетическое вещество, въ такой же мѣрѣ превосходящее первое своею летучестью, то и тогда желаемая температура не была бы еще достигнута. Впрочемъ, весьма вѣ-

роятно, абсолютный нуль навсегда останется недоступнымъ для насъ.

Слѣдующій этапъ по пути къ абсолютному нулю будетъ заключаться въ открытіи газа болѣе летучаго, чѣмъ водородъ; мы уже обладаемъ этимъ газомъ; онъ былъ извлеченъ изъ клевеита; это, какъ доказалъ Рамзай, есть *гелій*; вмѣстѣ съ водородомъ онъ широко распространенъ на солнцѣ, на звѣздахъ и въ туманностяхъ. Ольшевскій, охладивъ жидкимъ воздухомъ сильно сжатый гелій, подвергалъ его быстрому расширенію, но не могъ замѣтить ни малѣйшихъ признаковъ его сжиженія, даже въ видѣ тумана. Эти опыты заставляютъ думать, что температура кипѣнія гелія ниже 9° abs. Съ тѣхъ поръ, какъ былъ отысканъ новый источникъ гелія (въ газахъ, выдѣляемыхъ батскими ключами) и въ жидкомъ водородѣ было найдено новое охлаждающее средство, опыты возобновились: охлажденный жидкимъ водородомъ гелій образовалъ жидкость; но эта жидкость должна происходить отъ другихъ газовъ, ибо—по удаленіи этихъ болѣе сжижаемыхъ элементовъ—очищенный гелій не даетъ и слѣдовъ сжиженія, хотя его сжимали до 80 atm. и охлаждали твердымъ водородомъ; быстрое расширеніе не вызываетъ даже мимолетнаго тумана. Судя по условіямъ адіабатнаго расширенія, можно думать, что въ этихъ опытахъ гелій хотя на короткое время охлаждался до 9 или 10°; тѣмъ не менѣе онъ не обнаруживалъ признаковъ сжиженія; отсюда слѣдуетъ заключить, что его критическая температура еще ниже, а температура кипѣнія жидкаго гелія около 5°, такъ что онъ въ четыре раза болѣе летучъ, чѣмъ жидкій воздухъ.

Хотя сжиженіе гелія есть еще задача будущаго, однако же мы и теперь можемъ съ извѣстною увѣренностью предсказать нѣкоторыя свойства жидкаго гелія. Онъ будетъ вдвое плотнѣе жидкаго водорода; его критическое давленіе лишь 4 или 5 atm.; онъ будетъ обладать очень малымъ поверхностнымъ натяженіемъ и въ четыре раза большею сжимаемостью, чѣмъ жидкій водородъ; эта жидкость будетъ имѣть въ четыре раза меньшую молекулярную теплоту испаренія, чѣмъ жидкій водородъ; жидкость будетъ лишь въ 7 разъ плотнѣе своего пара (жидкій водородъ въ 65 разъ плотнѣе испускаемаго имъ газа); лишь три или четыре градуса будутъ отдѣлять его критическую температуру отъ температуръ кипѣнія и таянія (для водорода 10 и 15°); оптическая преломляемость жидкаго гелія будетъ въ 4 раза меньше,

чѣмъ водорода; слѣд. эта жидкость будетъ обладать совершенно особенными оптическими свойствами, и видѣть ее будетъ очень трудно; можетъ быть этимъ и объясняется почему не замѣчался туманъ во время адіабатнаго расширенія гелія при низкихъ температурахъ.

Имѣя въ виду всѣ эти замѣчательныя свойства жидкаго гелія, можно съ увѣренностью сказать, что газообразный гелій покорится нашимъ усиліямъ и обратится въ жидкость Практическія затрудненія и стоимость операціи будутъ велики. Но если спуститься до температуры, которая лишь на 5° будетъ отстоять отъ нуля, то откроются новые горизонты для научныхъ изслѣдованій и наши свѣдѣнія о свойствахъ матеріи значительно расширятся. Полученіе въ нашихъ лабораторіяхъ температуры, равной той, которую комета встрѣчаетъ въ безконечномъ разстояніи отъ солнца, составитъ настоящій тріумфъ для науки!

Новые термоскопы

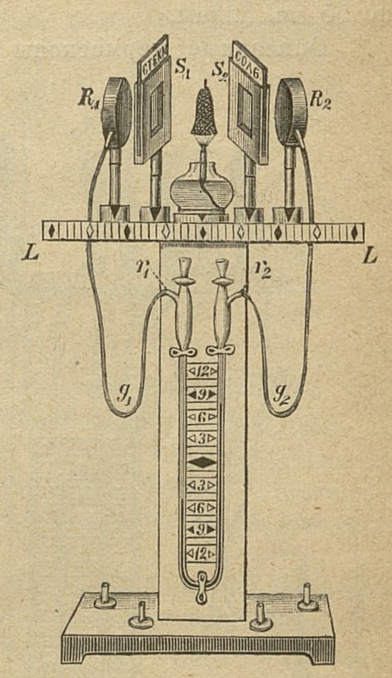
Б. Ю. Кольбе.

Описаніе приборовъ.

Простой дифференціальный термоскопъ (фиг. 1) состоитъ изъ укрѣпленнаго на вертикальной подставкѣ манометра со шкалою (отъ +12 до −12 cm.); оба колѣна манометра расширяются въ резервуары и оканчиваются воронками съ кранами; къ резервуарамъ припаяны боковыя трубочки, которыя—при помощи каучуковъ g_1, g_2—соединяются съ пріемниками K_1, K_2. Эти послѣдніе—плоскія, цилиндрическія коробки (діаметръ 85 mm., высота 20 mm.) изъ никкелированной латуни—укрѣплены на подставкахъ, которыя могутъ быть точно устанавливаемы на горизонтальной линейкѣ LL. На нижней доскѣ подставки имѣются латунныя трубочки (высотою въ 4 cm.), въ которыя можно вставлять пріемники и другія принадлежности прибора.

Описанный приборъ можетъ служить: 1) манометромъ, 2) простымъ термоскопомъ и 3) дифференціальнымъ термоскопомъ.

Чувствительность прибора весьма значительна и можетъ быть измѣняема приближеніемъ и удаленіемъ пріемниковъ отъ источниковъ тепла. Манометры можно наблюдать издали или проектировать.

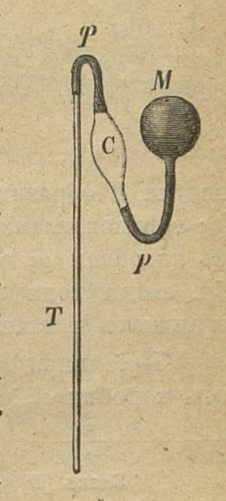


фиг. 1.

Къ прибору прилагаются бутылочка съ окрашенною жидкостью (KetonBlau) и приборчикъ для наполненія манометровъ, состоящій изъ латунной трубочки T (фиг. 2) и мячика M, соединенныхъ резиновыми трубками p, p и стекляннымъ резервуаромъ C.

Двойной дифференціальный термоскопъ (фиг. 3) состоитъ изъ двухъ простыхъ дифференціальныхъ термоскоповъ (шкала отъ +20 до −20 cm.), укрѣпленныхъ на одной вертикальной подставкѣ. Каучуки, идущіе отъ двухъ среднихъ резервуаровъ, проводятся чрезъ подставку назадъ и такимъ образомъ не закрываютъ шкалы.

Этотъ приборъ можетъ служить: 1) манометромъ, 2) простымъ термоскопомъ, 3) двойнымъ термоскопомъ, 4) простымъ дифференціальнымъ термоскопомъ (резервуары лѣваго манометра соединяютъ съ пріемниками R_1 и R_2 или резервуары праваго манометра соединяютъ съ R_3 и R_4) и 5) двойнымъ дифференціальнымъ термоскопомъ (крайнія колѣна манометровъ при помощи каучуковъ g_1 и g_4 соединяютъ съ пріемниками, а краны обоихъ среднихъ колѣнъ открываютъ). Приборъ вполнѣ замѣняетъ двойной термоскопъ Лоозера.

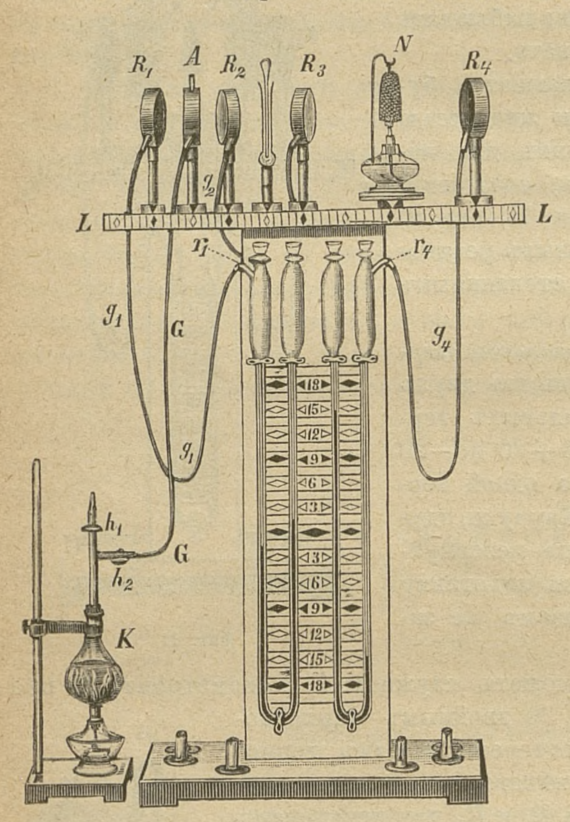


фиг. 2.

Къ прибору приложены: бутылочка съ подкрашенною жидкостью (KetonBlau), приборчикъ для наполненія манометра, два пріемника, у коихъ одна сторона бѣлая, другая черная, два пріемника, у коихъ одна сторона черная, дру-

гая блестящая (металлическая), и четыре каучуковыхъ трубки по 55 cm. длины.

Описанные термоскопы изготовляютъ механики: 1) И. Я. Урлаубъ (Спб., Большая Морская, 27), 2) М. С. Трындина С-ья (Москва), 3) Ferd. Ernecke (Берлинъ) и 4) Max Kohl (Хемницъ).



фиг. 3.

Опыты[1]).

1. *Лучеиспусканіе черныхъ и бѣлыхъ поверхностей.* [*D*], лучше [*DD*].

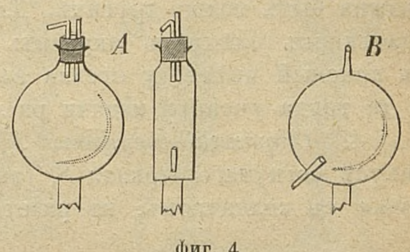
Источникомъ лучей служитъ плоская цилиндрическая коробка *A* (фиг. 3 и 4), которая нагрѣвается или наполняющимъ ее кипяткомъ, или приводимымъ къ ней паромъ. Въ послѣднемъ случаѣ берутъ колбу *K* (фиг. *3*) съ водою, закрытую резиновою пробкою, чрезъ которую проведена T-образная стеклянная трубочка съ двумя кранами h_1 и h_2; горизонтальная вѣтвь этой трубочки соединяется каучукомъ съ коробкою *A*; открывъ кранъ h_1 и закрывъ h_2, нагрѣваютъ колбу; когда вода закипитъ, кранъ h_1 закрываютъ, а кранъ h_2 открываютъ и начинаютъ опытъ.

Пріемники R_1 и R_2 ставятъ въ равныхъ разстояніяхъ (5 cm.) отъ коробки *A*, обращая къ послѣдней ихъ черныя стороны; у

---

[1]) Знакъ [*D*] указываетъ, что опытъ дѣлается съ простымъ, а [*DD*]—что опытъ дѣлается съ двойнымъ дифференціальнымъ термоскопомъ.

самой коробки A одна сторона тоже черная, но другая бѣлая. Для удачи опытовъ необходимо, чтобы поверхности пріемниковъ были совершенно сухи. Когда коробка A нагрѣта лишь до 100° Ц., незамѣтно разницы въ лучеиспусканіяхъ ея сторонъ; показаніе термоскопа [D] не превышаетъ 1 или 2 cm.



фиг. 4.

1b. Если одна сторона коробки A черная, а другая блестящая, то разница въ ихъ лучеиспусканіяхъ гораздо больше.

2a. *Лучепоглощеніе черными и бѣлыми поверхностями.* [D], лучше [DD]. Источникомъ лучей служитъ латунная коробка A, нагрѣтая кипяткомъ, или коробка B, нагрѣтая паромъ; пріемники R_1 и R_2 обращены къ этой коробкѣ одинъ бѣлою стороною, а другой—черною. Разность показаній манометровъ незначительная (1 или 2 cm. въ [D]).

2b. Если паровую коробку B замѣнить спиртовою лампочкою N (фиг. 3), пламя которой накрыто колпачкомъ изъ тонкой мѣдной сѣтки (около 500°), то разность въ показаніяхъ манометровъ значительнѣе; слѣд. въ этомъ случаѣ разница между лучепоглощеніями черной и бѣлой поверхностями больше; еще больше разница между лучепоглощеніями черной и блестящей поверхностями.

Замѣчу, что спиртовая лампочка съ мѣдною сѣткою представляетъ собою прекрасный источникъ тепловыхъ лучей, вполнѣ достаточный для всѣхъ классныхъ опытовъ.

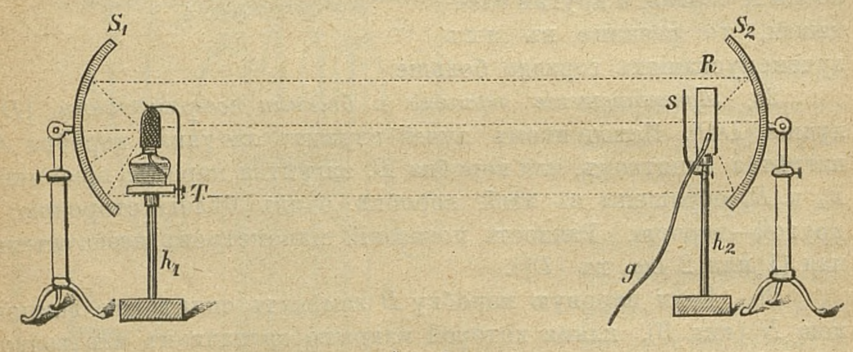
Примѣчаніе. Если надо перемѣнить пріемники R_1 и R_2 (или R_3 и R_4) послѣ того, какъ они нагрѣлись, то слѣдуетъ предварительно открыть одновременно оба крана манометра и привести такимъ образомъ уровни жидкостей къ нулю.

3. *Прозрачность каменной соли и зеркальнаго стекла.* [D], лучше [DD]. По обѣ стороны проволочнаго колпачка, въ разстояніяхъ 4 или 5 cm. отъ него, ставятъ два двойныхъ экрана съ діафрагмами S_1 и S_2 (фиг. 1), а затѣмъ пріемники, обращенные черными сторонами къ источнику лучей. Въ экраны вставляются испытуемыя пластинки (30×40 mm.), оправленныя въ пробку.

Для классныхъ опытовъ достаточно имѣть двѣ пластинки,

напр. изъ каменной соли и изъ стекла; но интересны также опыты съ квасцами, гипсомъ и кварцомъ. Пластинка изъ каменной соли должна быть толще другихъ. Для наглядности пробковыя оправы пластинокъ слѣдуетъ окрасить въ разные цвѣта, напр. у соли въ красный цвѣтъ, у стекла въ зеленый, у гипса въ желтый и т. д.; тогда ученики издали различаютъ пластинки.

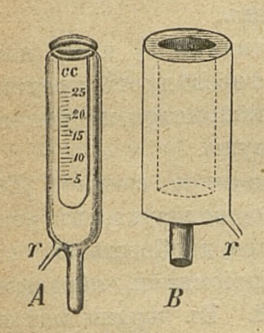
4. *Отраженіе тепловыхъ лучей отъ вогнутаго зеркала* [*D*]. Въ фокусѣ вогнутаго зеркала S_1 (фиг. 5) помѣщается спиртовая лампочка съ колпачкомъ; въ разстояніи 5 или 6 m. отъ этого зер-



фиг. 5.

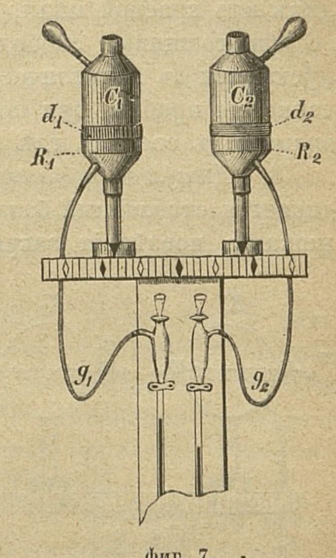
кала ставится другое зеркало S_2, въ фокусѣ котораго помѣщаютъ пріемникъ *R* (діаметръ 60 mm., высота 20 mm.), загороженный отъ лампочки жестяною ширмою *s* и соединенный каучукомъ *g* съ однимъ колѣномъ манометра, другое колѣно котораго открыто.

5. *Удѣльная теплота твердыхъ тѣлъ.* [*DD*]. Пріемниками служатъ воздушные калориметры, т. е. сосуды съ двойными стѣнками *A* или *B* (фиг. 6); каучукъ надѣвается на трубочку *r* сосуда и на трубочку r_1 или r_4 манометра (фиг. 3). Сосуды эти дѣлаются изъ стекла или латуни. Стеклянные сосуды имѣютъ много преимуществъ: въ нихъ можно вливать кислоты (напр. при демонстраціи теплоты гальваническаго элемента); они позволяютъ издали видѣть вводимыя тѣла; внутренніе сосуды могутъ быть градуированы на куб. центиметры. Металлическіе сосуды прочнѣе. Опытъ дѣлается такъ: два одинакихъ калориметра соединяются съ двумя



фиг. 6.

манометрами; во внутренніе сосуды калориметровъ наливаютъ по 25 с. cm. воды компатной температуры; въ нихъ погружаютъ тѣла (изъ красной мѣди, нейзильбера и т. п.) одного вѣса и одной поверхности, прикрѣпленныя къ тонкимъ проволочкамъ. Предварительно эти тѣла нагрѣваются до 100° Ц., для чего погружаются въ особый сосудъ съ паромъ; по удаленіи оттуда, ихъ быстро высушиваютъ фильтровальною бумагою и погружаютъ въ калориметры, которые сейчасъ же покрываютъ стеклянными пластинками. Изъ показаній манометровъ можно сравнить удѣльныя теплоты испытуемыхъ тѣлъ.

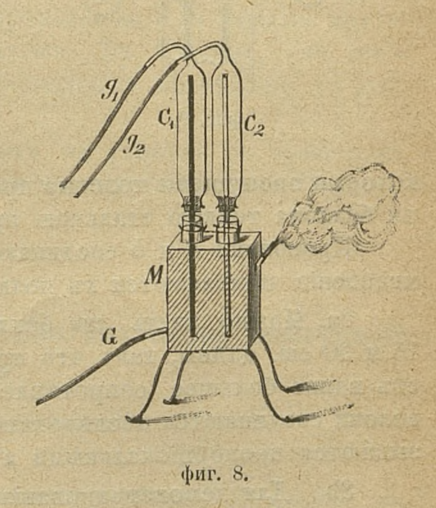


фиг. 7.

6. *Теплопроводность твердыхъ тѣлъ.* [*D*] или [*DD*]. Два плоскихъ горизонтальныхъ пріемника R_1 и R_2 (фиг. 7) соединяются съ манометрами; на эти пріемники кладутся пластинки d_1 и d_2 изъ дерева (сосноваго, осиноваго или липоваго) въ 1 cm. толщины, при чемъ одна пластинка вырѣзана вдоль, а другая поперекъ воколонъ. На деревянныя пластинки ставятся металлическіе сосуды C_1 и C_2, нагрѣтые кипяткомъ или паромъ.

Нашъ приборъ показываетъ, что вдоль волоконъ теплопроводность больше, чѣмъ поперекъ волоконъ.

Опытъ можно дѣлать съ пластинками кварца, изъ коихъ одна вырѣзана параллельно, а другая перпендикулярно къ главной оси.

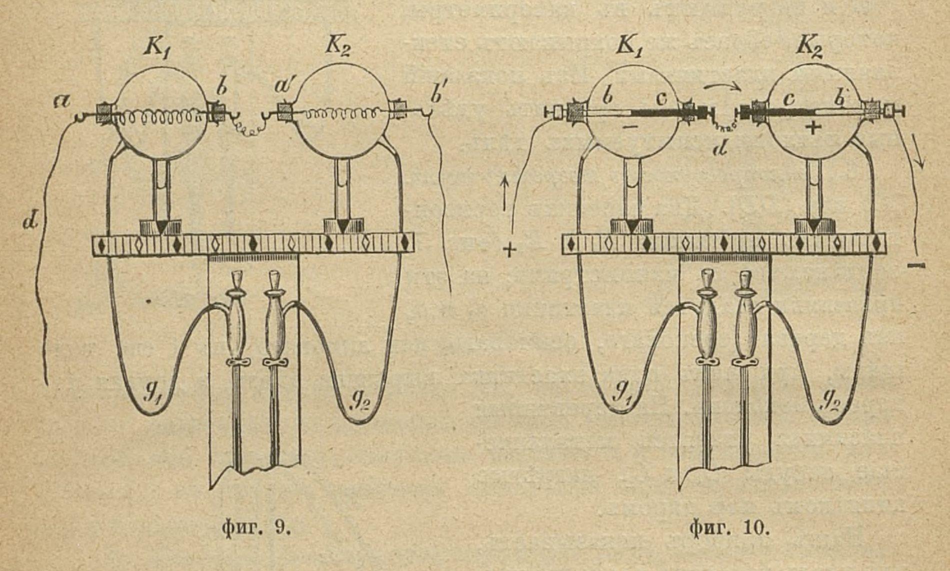


фиг. 8.

7. *Теплопроводность металловъ по способу Лоозера.* [*DD*]. Пріемниками служатъ стеклянныя трубки C_1 и C_2 (фиг. 8), верхніе концы которыхъ оттянуты и отогнуты въ сторону; эти верхніе концы трубокъ соединены каучуками g_1 и g_2 съ манометрами

двойного термоскопа; нижніе концы трубокъ закрыты резиновыми пробками, чрезъ которыя проходятъ металлическіе стержни, одинъ изъ красной мѣди, другой изъ нейзильбера (20 cm. длины и 6 mm. толщины); свободные (нижніе) концы этихъ стержней опускаются въ металлическій сосудъ *M* (на стержни надѣты еще резиновыя пробки, при помощи коихъ стержни укрѣпляются въ горлышкахъ сосуда), гдѣ они нагрѣваются паромъ.

8. *Джаулева теплота.* [*D*] или [*DD*]. Съ манометромъ соединяется стеклянный баллонъ K_1 (фиг. 9), снабженный двумя горлышками; послѣднія закрываются резиновыми пробками, чрезъ



фиг. 9. фиг. 10.

которыя пропущены толстыя проволоки *a* и *b*, соединенныя внутри баллона тонкою стальною проволокою въ 15 cm. длины.

Проволоки *a* и *b* соединяются съ проводами, которыми на мгновеніе прикасаются къ полюсамъ гальваническаго элемента.

8a. Можно взять два баллона K_1 и K_2, съ проволоками въ 15 и 30 cm. длины, такъ что проволока въ одномъ баллонѣ имѣетъ вдвое большее сопротивленіе, чѣмъ въ другомъ. Обѣ проволоки соединяются послѣдовательно. Нагрѣванія проволокъ оказываются пропорціональными ихъ сопротивленіямъ.

8b. Для демонстрированія того, что нагрѣваніе проволоки пропорціонально квадрату тока, составляютъ цѣпь изъ проволоки баллона K_1, амперметра, реостата (Гартмана и Брауна въ

1110 омовъ съ добавочнымъ омомъ) и батареи (небольшого аккумулятора или двухъ соединенныхъ параллельно элементовъ Лекланше). Открывъ оба крана манометра, предварительнымъ опытомъ находятъ тѣ сопротивленія, которыя надо ввести реостатомъ для того, чтобы въ цѣпи имѣть токи i и $2i$. Затѣмъ цѣпь размыкаютъ на одну минуту, закрываютъ кранъ на томъ концѣ манометра, который соединенъ съ баллономъ, цѣпь замыкаютъ на одну секунду и отсчитываютъ перемѣщеніе уровня жидкости въ манометрѣ. Чрезъ полминуты повторяютъ опытъ съ токомъ вдвое бóльшимъ; получается перемѣщеніе уровня въ четыре раза большее прежняго.

8c. Лоозеръ видоизмѣнилъ (по Ленцу) этотъ опытъ такъ: два воздушныхъ калориметра соединяются съ манометрами двойного термоскопа; во внутренніе сосуды калориметровъ вливаютъ по 25 c. cm. спирта и туда погружаютъ платиновыя проволоки (по 15 cm. длины); чрезъ одну изъ этихъ проволокъ пропускаютъ одинъ токъ, чрезъ другую—вдвое большій.

9. *Опытъ Пельтье.* [*D*] или [*DD*]. Съ манометрами диффренціальнаго термоскопа соединяются стеклянные баллоны K_1 и K_2 (фиг. 10); въ эти послѣдніе вставлены палочки (6 mm. толщины), спаянныя изъ сурьмы b и висмута c; на концы этихъ палочекъ надѣты зажимы, окрашенные въ разные цвѣта. Зажимы одного цвѣта соединены между собою проволокою d, а зажимы другого цвѣта соединяются съ элементомъ. Въ баллонѣ, гдѣ токъ идетъ отъ сурьмы къ висмуту, происходитъ нагрѣваніе, въ другомъ—охлажденіе.

Замѣчу, что описанный опытъ не удается съ приборомъ Лоозера, ибо тамъ джаулева теплота маскируетъ явленіе Пельтье.

Спб. Сентябрь, 1902.

Алюминіевый конденсаторъ для звучащей вольтовой дуги

В. Ѳ. Миткевича[1]).

1. Для того, чтобы воспроизвести опытъ Дудделля съ „поющею" вольтовой дугой, необходимо располагать довольно

---

[1]) Изъ Журнала Рус. Физ.-Хим. Общ. 1902.

значительною емкостью. Въ тѣхъ случаяхъ, когда почему-либо нельзя примѣнить обычные дорого-стоющіе конденсаторы, я предлагаю пользоваться „алюминіевымъ конденсаторомъ", устройство котораго въ высшей степени просто. Подобно „алюминіевому клапану" онъ состоитъ изъ алюминіеваго электрода, погруженнаго въ семи или восьми-процентный растворъ *двууглекислой соды*. Поверхность алюминія электролитически покрывается тончайшимъ слоемъ окиси или гидрата окиси алюминія, представляющимъ собою весьма дурной проводникъ; такимъ образомъ, въ нашемъ конденсаторѣ обкладками служатъ алюминій и проводящая жидкость, раздѣленные этимъ слоемъ.

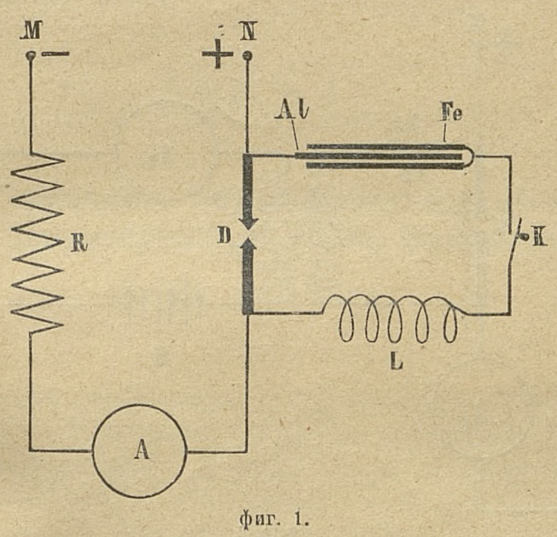
Алюминіевый электродъ приготовленнаго мною конденсатора имѣетъ приблизительно слѣдующіе размѣры: толщина— 1 mm., длина—25 cm., ширина—12 cm. По обѣ стороны алюминіевой пластины помѣщаются точно такихъ же размѣровъ желѣзныя пластинки, отдѣленныя отъ нея тонкими резиновыми прокладками и соединенныя между собою металлически; вся система стягивается въ двухъ-трехъ мѣстахъ бичевкою или резиновыми кольцами и помѣщается въ сосудъ съ растворомъ соды. Емкость такого конденсатора съ дѣйствующею поверхностью около 5 q.dm. по приблизительнымъ измѣреніямъ оказалась порядка 100 микрофарадъ. Такая большая величина емкости должна быть объяснена тѣмъ обстоятельствомъ, что изолирующій слой въ нашемъ конденсаторѣ чрезвычайно тонокъ. Описанный мною конденсаторъ долженъ присоединяться къ цѣпи источника постояннаго тока такимъ образомъ, чтобы алюминій былъ *плюсомъ*; въ противномъ случаѣ изолирующій слой сходитъ съ поверхности алюминія.

На фиг. 1 показана схема Дудделля съ алюминіевымъ конденсаторомъ. Здѣсь: *M* и *N*—зажимы отъ цѣпи постояннаго тока (полезно имѣть не менѣе 100 вольтъ); *R*—добавочное сопротивленіе; *A*—амперметръ; *D*—вольтова дуга (электроды—*обязательно* угли *безъ фитиля*); Al/Fe—алюминіевый конденсаторъ (*алюминіевый электродъ присоединенъ къ положительному углю, а желѣзный листъ къ отрицательному*); *K*—ключъ для замыканія тока въ цѣпи конденсатора; *L*—катушка безъ желѣзнаго сердечника, состоящая изъ нѣсколькихъ десятковъ оборотовъ толстой изолированной проволоки.

Сопротивленіе цѣпи конденсатора вообще должно быть воз-

можно меньше. Въ опытахъ съ вышеописаннымъ конденсаторомъ я пускалъ чрезъ вольтову дугу токъ силою отъ 4 до 6 амперъ.

Если алюминіевый электродъ конденсатора еще не покрытъ изолирующимъ слоемъ, то, не зажигая дуги, замыкаютъ ключъ *K*; тогда чрезъ „конденсаторъ" пойдетъ токъ, силу котораго подрегулировываютъ такимъ образомъ, чтобы на 1 кв. дециметръ



фиг. 1.

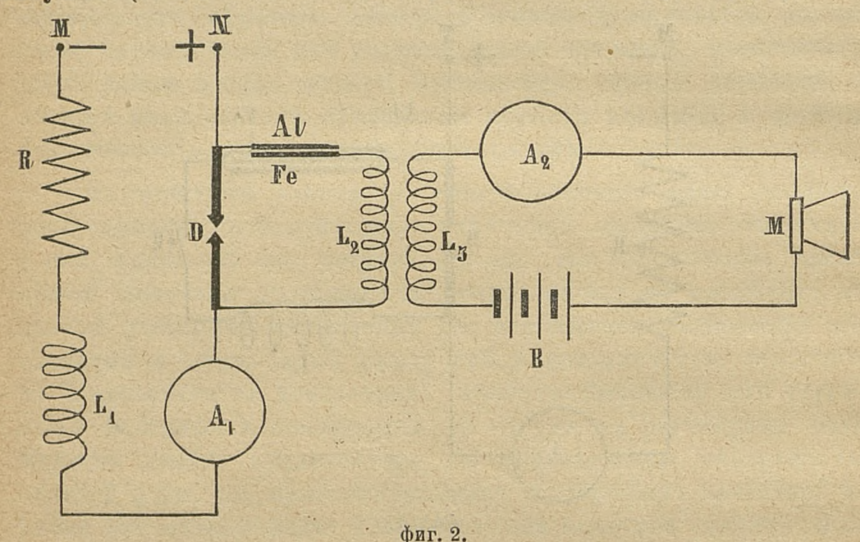
поверхности алюминіеваго электрода приходилось около 1 ампера; черезъ нѣсколько минутъ токъ самъ собою начнетъ сильно ослабѣвать, что будетъ свидѣтельствовать объ образованіи изолирующаго слоя; наконецъ, токъ чрезъ конденсаторъ почти совершенно прекратится (будетъ проходить не болѣе 0·1 amp. при 100 volt) и тогда можно начинать опытъ съ вольтовой дугою.

Во время опыта можно весьма просто уменьшать емкость конденсатора: для этого стоитъ только болѣе или менѣе вынимать электроды изъ жидкости.

По окончаніи опыта не слѣдуетъ хранить электроды погруженными въ жидкость. Проще всего, вынувъ ихъ, обильно омыть водою, затѣмъ высушить или обтереть *нежирною* тряпкою (для чего приходится совершенно разбирать конденсаторъ, что впрочемъ нехитро).

2. Алюминіевый конденсаторъ можетъ съ успѣхомъ замѣнять обычный конденсаторъ и во многихъ другихъ случаяхъ; между прочимъ во всѣхъ схемахъ „говорящей" вольтовой дуги.

Совмѣстно съ Ф. Н. Индриксономъ и В. А. Кашерининовой, я испытывалъ алюминіевый конденсаторъ въ цѣпи „говорящей“ вольтовой дуги, схема которой, одна изъ наиболѣе примѣняемыхъ, показана на фиг. 2. Здѣсь: *M* и *N*—зажимы отъ цѣпи постояннаго тока; *R*—добавочное сопротивленіе; L_1—реактивная катушка (съ большимъ коэффиціентомъ самоиндукціи); A_1—ам-



фиг. 2.

перметръ; *D*—вольтова дуга между углями *съ фитилемъ* (длина дуги должна быть возможно больше); Al/Fe—алюминіевый конденсаторъ; L_2 и L_3—двѣ катушки, навитыя на общемъ желѣзномъ сердечникѣ (изъ проволокъ); *B*—батарея изъ нѣсколькихъ аккумуляторовъ; A_2—амперметръ; *M*—микрофонъ съ небольшимъ сопротивленіемъ.

Число оборотовъ катушекъ L_2 и L_3 въ нашемъ опытѣ одно и то же (около 300). Проволока въ этихъ катушкахъ около 2 mm. діаметромъ. Длинный желѣзный сердечникъ имѣетъ около 5 cm. въ діаметрѣ. Въ дугу пускался токъ отъ 10 до 15 amp.; въ цѣпи микрофона токъ былъ около 1·5 amp. Поверхность алюминіеваго электрода конденсатора была въ нашемъ опытѣ около q. dm. Дуга „говорила“ такъ же хорошо, какъ при обычномъ конденсаторѣ въ 20 микрофарадъ.

Спб. Университетъ
Физическій Институтъ.
